



TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISA PENGGUNAAN *SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER* (SFCL) UNTUK MELINDUNGI PERALATAN di PT PINDO DELI

Yohanes Sabriant Widyo Utomo
2213105078

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pudjiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**ANALYSIS OF SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT
LIMITER (SFCL) FOR PROTECTIVE DEVICE ON PT
PINDO DELI.**

Yohanes Sabriant Widyo Utomo
2213105078

Advisor
Dr. Ir. Margo Pudjiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**ANALISA PENGGUNAAN SUPERCONDUCTING FAULT
CURRENT LIMITER (SFCL) UNTUK MELINDUNGI
PERALATAN di PT. PINDO DELI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

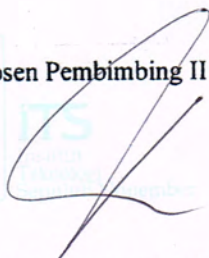
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pudjiantara MT
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP. 196608111992031004



ANALYSIS OF SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SFCL) FOR PROTECTIVE DEVICE ON PT PINDO DELI.

Name : Yohanes Sabriant Widyo Utomo
Nrp : 2213105078
Lecture 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 19663181990101001
Lecture 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP : 196608111992031004

ABSTRACT

Increases demand load and power capacity requirement at PT Pindo Deli then the short circuit current that occur will be greater. this can cause damage to electrical equipment located around the point of interrupting and resulting failure of the electrical system in power distribution. from the analysis of the three phase short circuit current 1/2 cycle seen that the bus 1 exceeds the peak breacing asimetry equipment. Where breacing peak bus asymetri 1 was 43.88 kA. While the peak of 3-phase short circuit on the bus 1 is 47.98 kA. To protect the equipment and the entire electrical system in PT Pindo Deli would require the use of Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) that will be placed on buses that exceed or approach the critical point. There are two kinds of Superconducting Fault Current Limiter that type of resistive and saturated iron core. In this final project SFCL used is a hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiting. By using a hybrid resistive SFCL then flow disturbance will quickly be reduced by utilizing the reactance of Current Limiting Reactor (CLR) that is connected parallel with superonductor So as to secure all the equipment and electrical systems of a total blackout. After determination of Superconducting Fault Current Limiter setting the overcurrent relay coordination to determine whether existing coordination setting in accordance with the conditions there. The coordination displayed using the curve Current Time Curve (TCC).

Keywords : 3-phase short-circuit currents, Superconducting Fault Current Limiter, Overcurrent relay



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

ANALISA PENGGUNAAN *SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER* (SFCL) UNTUK MELINDUNGI PERALATAN DI PT PINDO DELI

Nama Mahasiswa : Yohanes Sabriant Widyo Utomo
Nrp : 2213105078
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 19663181990101001
Dosen Pembimbing : Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP : 196608111992031004

ABSTRAK

Seiring dengan bertambahnya beban serta kebutuhan daya listrik pada PT Pindo Deli maka arus hubung singkat yang terjadi akan bertambah besar. Hal ini dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik yang berada disekitar titik gangguan serta mengakibatkan kegagalan sistem kelistrikan dalam penyaluran daya. Dari analisa arus hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle terlihat bahwa pada bus 1 melebihi *breacing peak asmetri* peralatan.. Dimana *breacing peak asyemetri* bus 1 adalah 43.88 kA. Sedangkan puncak arus hubung singkat 3 fasa pada bus 1 adalah 47.98 kA. Untuk melindungi peralatan serta seluruh sistem kelistrikan di PT Pindo Deli maka diperlukan penggunaan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) yang akan diletakkan pada bus yang melampaui maupun mendekati titik kritis. Ada dua macam *Superconducting Fault Current Limiter* yakni tipe *resistive* dan *saturated iron core*. Pada Tugas Akhir ini SFCL yang digunakan adalah *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiting*. Dengan menggunakan *hybrid resistive* SFCL maka arus gangguan yang terjadi akan dengan cepat direduksi dengan memanfaatkan reaktansi dari *Current Limiting Reactor* (CLR) yang terhubung parallel dengan superconductor. Sehingga dapat mengamankan seluruh peralatan dan sistem kelistrikan dari pemadaman total. Setelah penentuan *setting Superconducting Fault Current Limiter* maka dilakukan koordinasi rele arus lebih untuk mengetahui apakah setting koordinasi yang ada sesuai dengan syarat-syarat yang ada Hasil koordinasi ditampilkan menggunakan kurva Time Current Curve (TCC).

Kata Kunci : Arus Hubung Singkat 3 fasa, *Superconducting Fault Current Limiter*, Rele Arus Lebih



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Analisa Penggunaan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) Untuk Melindungi Peralatan di PT Pindo Deli”

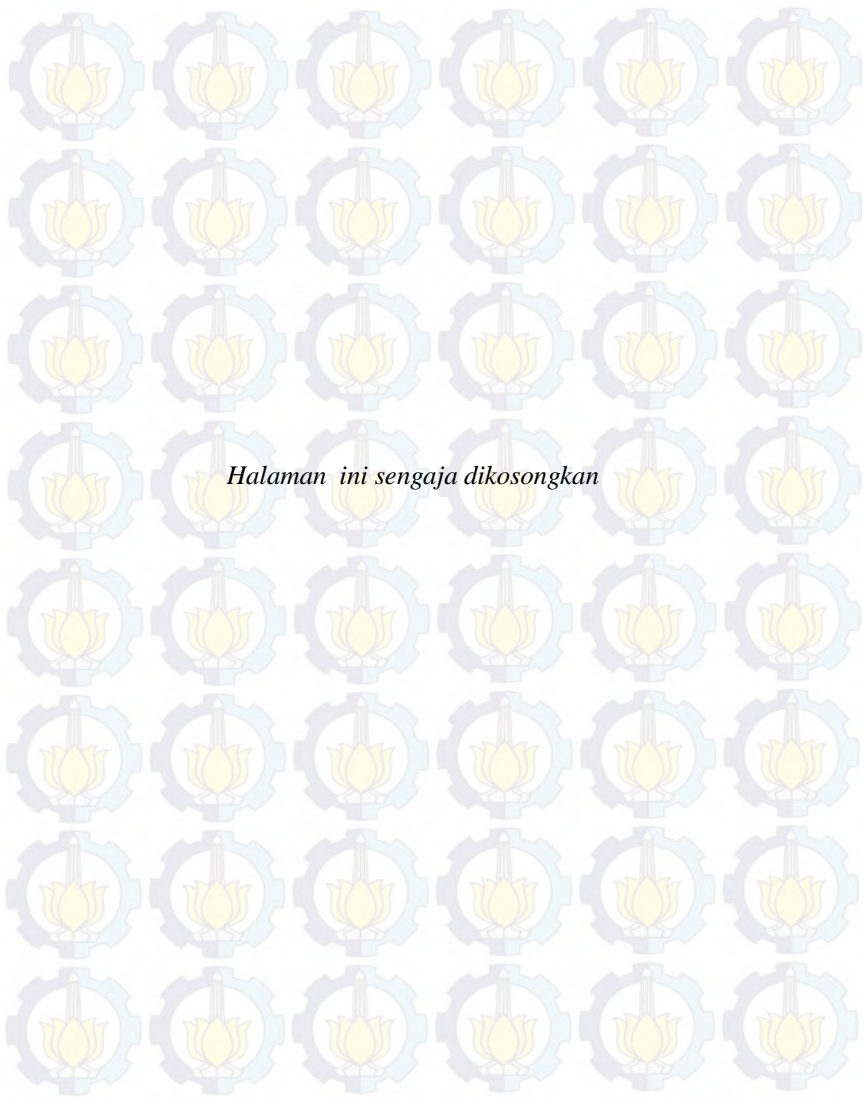
Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Ibu, Ayah, dan kakak beserta seluruh keluarga besar atas doa dan dukungannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Ir. Arif Musthofa, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
5. Teman-teman satu kelas LJ POWER yang banyak membantu dan selalu memberikan semangat, serta teman-temanku Lintas Jalur angkatan 2013.
6. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2015

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pernyataan Keaslian	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
1.7 Relevansi	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.2.1 Gangguan Tegangan Lebih (Over Voltage)	6
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat	6
2.2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	6
2.2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	7
2.2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah	8
2.2.2.4 Gangguan Hubung Singkat satu Fasa Ketanah	8
2.2.3 Gangguan Beban Lebih (Over Load)	9
2.3 Superconductor Fault Current Limiter (SFCL)	10
2.3.1 Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	10
2.4 Hybrid Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	11
2.4.1 Kondisi Operasi Normal	12
2.4.2 Sensing Adanya Gangguan	12
2.4.3 Kondisi Terjadinya Gangguan Setelah Coil Aktif	13
2.5 Pemasangan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	13
2.5.1 Operasi Paralel Dengan Dua Sistem dan Feeder Keluaran	12
2.5.2 Operasi Pada Sumber Tenaga	14
2.6 Sistem Pengaman Tenaga Listrik	15

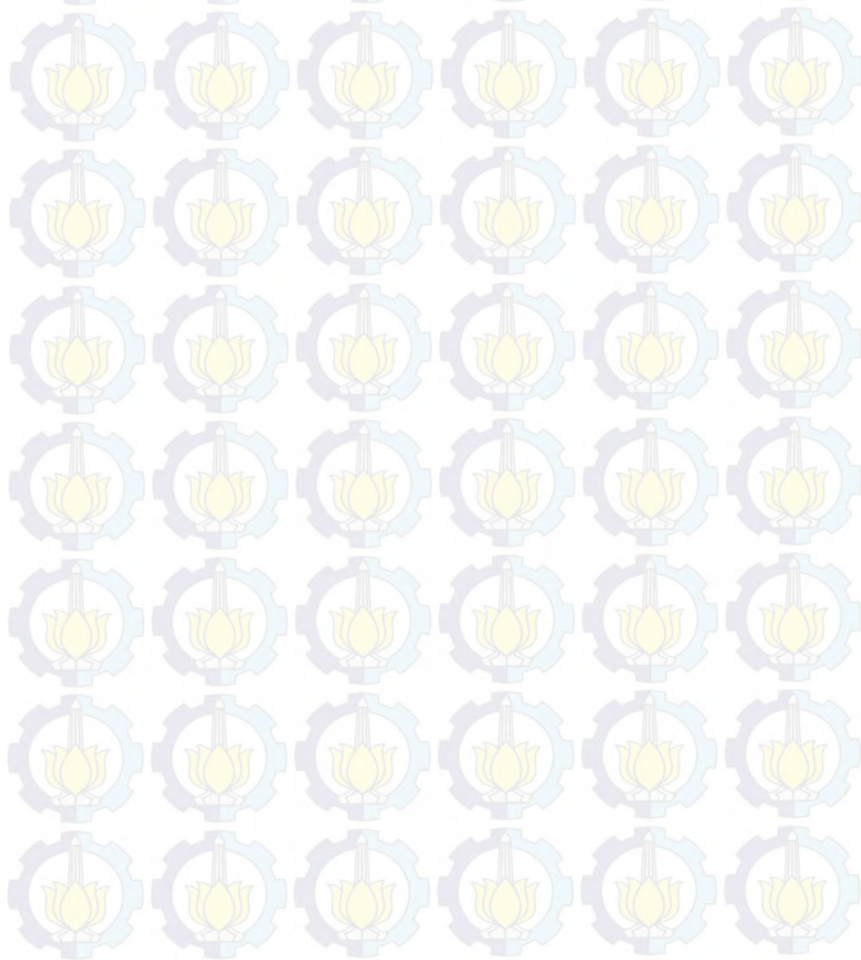
2.7 Rele	16
2.8 Rele Arus Lebih (Over Current Relay)	17
2.8.1 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih.....	17
2.8.2 Setting Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa	17
2.8.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika.....	18
2.8.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	18
2.8.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik.....	19
BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT PINDO DELI	
3.1 Sistem Jaringan Tenaga Listrik di PT Pindo Deli	21
3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik di PT Pindo Deli	22
3.2.1 Data Beban di PT Pindo Deli	23
3.2.2 Data Switchgear/bus di PT Pindo Deli.....	26
BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA	
4.1 Pemodelan Peningkatan Resistansi dan Temperatur pada Superconductor.....	27
4.2 Analisa Hubung Singkat dan Analisa Peralatan.....	30
4.2.1 Pembangkitan Maksimum.....	30
4.2.2 Pembangkitan STG 30MW dan PLN 70 kV	36
4.2.3 Pembangkitan STG 30MW dan STG 5MW.....	39
4.2.4 Pembangkitan PLN 70kV dan STG 5MW	45
4.2.3 Pembangkitan minimum STG 30MW	39
4.3 Peneapan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL).....	49
4.4 Perhitungan Nilai Reactansi Current Limiter Reactor (CLR)	50
4.5 Cara Kerja SFCL.....	51
4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	54
4.6.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi PAda PT Pindo Deli	54
4.6.2 Analisa Hubung Singkat	55
4.6.2.1 Hubung Singkat Minimum.....	55
4.6.2.1 Hubung Singkat Maksimum.....	56
4.6.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	57
4.6.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	66
4.6.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	75
4.6.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	82
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	95
RIWAYAT HIDUP	97

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Konstansta Kurva IEEE 19
Tabel 3.2	Data Kapasitas dan Impedansi Sub-transien Pembangkit di PT Pindo Deli dan PT DSS..... 21
Tabel 3.2	Pembagian Substation dan Kebutuhan Daya beban di PT. Pindo Deli..... 24
Tabel 3.3	Beban Penunjang Sistem Internal STG 30-MW PT. DSS..... 25
Tabel 3.4	Data Kemampuan Hubung Singkat Switchgear 26
Tabel 4.1	Parameter Pemodelan Peningkatan Resistasi Terhadap Temperatur..... 28
Tabel 4.2	Data Eksisting Kemampuan Busbar/ Switchgear..... 31
Tabel 4.3	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum pada Bus 1 32
Tabel 4.4	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum pada Bus 2..... 33
Tabel 4.5	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum Pada Bus 3..... 34
Tabel 4.6	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum Pada Bus 4..... 35
Tabel 4.7	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus DSS Main Pembangkitan Maksimum..... 36
Tabel 4.8	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 1..... 37
Tabel 4.9	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 2..... 38
Tabel 4.10	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 3..... 38
Tabel 4.11	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 4..... 38
Tabel 4.12	Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus DSS Main..... 39
Tabel 4.13	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 1..... 40
Tabel 4.14	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 2..... 41

Tabel 4.15	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 3.....	41
Tabel 4.16	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 4	41
Tabel 4.17	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus DSS Main.....	42
Tabel 4.18	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 1.....	43
Tabel 4.19	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 2.....	44
Tabel 4.20	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 3.....	44
Tabel 4.21	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 4.....	44
Tabel 4.22	Data arus hubung singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW pada bus DSS Main.....	45
Tabel 4.23	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 1.....	46
Tabel 4.24	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 2.....	47
Tabel 4.25	Data arus hubung singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 3.....	47
Tabel 4.26	Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 4.....	47
Tabel 4.27	Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus DSS Main.....	48
Tabel 4.28	Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ cycle Symetri kA rms.....	48
Tabel 4.29	Data Arus Hubung Singkat Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ Cycle Asymetri kA Peak.....	49
Tabel 4.30	Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ cycle Symetri kA rms dengan SFCL.....	52
Tabel 4.31	Data Arus Hubung Singkat Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ Cycle Asymetri kA Peak dengan SFCL.....	53
Tabel 4.32	Rating Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) Merek Nexans.....	54

Tabel 4.33	Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle.....	56
Tabel 4.34	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle.....	56
Tabel 4.35	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 1	57
Tabel 4.36	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 2	66
Tabel 4.37	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 3	76
Tabel 4.38	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 4	83





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	7
Gambar 2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua fasa.....	7
Gambar 2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah.....	8
Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah.....	8
Gambar 2.5 Arah Aliran Arus Hubung Singkat Ketika Terjadi Gangguan.....	9
Gambar 2.6 Gelombang Pereduksian Arus Oleh SFCL.....	10
Gambar 2.7 Perubahan Inovasi dari Resistive Superconductor Fault Current Limiter (SFCL).....	11
Gambar 2.8 Rangkaian Hybrid Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL).....	12
Gambar 2.9 Kondisi Operasi Normal.....	12
Gambar 2.10 Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan.....	13
Gambar 2.11 Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif.....	13
Gambar 2.12 Pemasangan Superconducting Fault Curremy Limiter.....	14
Gambar 2.13 Skema Konsep Kerja Rele.....	16
Gambar 2.14 Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman.....	16
Gambar 2.15 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika.....	18
Gambar 2.16 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	19
Gambar 2.17 Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse.....	20
Gambar 3.1 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan Maksimum	22
Gambar 3.2 Single Line Diagram PM 6 atau BUS 1.....	22
Gambar 3.3 Single Line Diagram Substasion PM 7 atau BUS 2	23
Gambar 3.4 Single Line Diagram Substasion PM 1-5 atau BUS 4..	24
Gambar 3.5 Single Line Diagram PT DSS.....	25
Gambar 4.1 Perubahan Resistansi Superconductor.....	29
Gambar 4.2 Perubahan Temperature Superconductor.....	29
Gambar 4.3 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan Maksimum.	31
Gambar 4.4 Nilai Arus Kontribusi Pada Bus 1 Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP.....	32
Gambar 4.5 Nilai Arus Kontribusi Pada Bus 2 Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP.....	33
Gambar 4.6 Nilai Arus Kontribusi Pada Bus 3 Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP.....	34
Gambar 4.7 Nilai Arus Kontribusi Pada Bus 4 Pembangkitan	

	Maksimum Pada Simulasi ETAP.....	35
Gambar 4.8	Nilai Arus Kontribusi Pada Bus DSS Main Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP.....	36
Gambar 4.9	Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV.....	37
Gambar 4.10	Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW.....	40
Gambar 4.11	Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW Dan PLN 70.....	43
Gambar 4.12	Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW.....	46
Gambar 4.13	Single Line Diagram Pemasangan SFCL Pada Bus 1 Dan Bus 2 Yang Terhubung Dengan Bus DSS Main...	50
Gambar 4.14	Grafik Proses Kerja SFCL.....	51
Gambar 4.15	Grafik Arus Hubung Singkat Sebelum Adanya SFCL..	52
Gambar 4.16	Grafik Arus Hubung Singkat Akibat Adanya SFCL...	53
Gambar 4.17	Single Line Diagram Tipikal 1 Sampai 4	55
Gambar 4.18	Rangkaian Tipikal 1.....	57
Gambar 4.19	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 1.....	56
Gambar 4.20	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1.....	65
Gambar 4.21	Rangkaian Tipikal 2.....	66
Gambar 4.22	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 2.....	67
Gambar 4.23	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2.....	75
Gambar 4.24	Rangkaian Tipikal 3.....	77
Gambar 4.25	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 3	82
Gambar 4.26	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3 Rangkaian Tipikal 3.....	83
Gambar 4.27	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 4.....	84
Gambar 4.28	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan bertambahnya beban serta kebutuhan daya listrik pada PT Pindo Deli maka dilakukan integrasi sistem kelistrikan dengan PT Dian Swastika Sentosa (DSS). Hal ini akan menyebabkan arus hubung singkat yang terjadi akan semakin besar serta dapat melebihi rating busbar. Hal ini akan berdampak pada rusaknya peralatan listrik yang berada disekitar titik gangguan serta mengakibatkan kegagalan sistem kelistrikan dalam penyaluran daya. Untuk melindungi peralatan serta seluruh sistem kelistrikan maka diperlukan penggunaan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) yang akan diletakkan pada bus yang mendekati titik kritis. Ada dua macam *Superconducting Fault Current Limiter* yakni tipe *resistive* dan *saturated iron core*. Pada Tugas Akhir ini *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) yang digunakan adalah *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiting* (SFCL). Dengan menggunakan *hybrid resistive* SFCL maka arus gangguan yang terjadi akan dengan cepat direduksi dengan memanfaatkan reaktansi dari *Current Limiting Reactor* (CLR) yang terhubung *parallel* dengan *superconductor* sehingga dapat mengamankan seluruh peralatan dan sistem kelistrikan dari pemadaman total. Pada Tugas Akhir ini akan membahas mengenai setting dan peletakan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). Serta melakukan koordinasi proteksi akibat pemasangan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) diletakkan pada bus yang tidak mampu menahan arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi. Hasil koordinasi proteksi ditampilkan menggunakan kurva Time Current Curve (TCC).

1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah:

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prinsip kerja *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)?
2. Bagaimana cara pemasangan *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) untuk membatasi arus hubung singkat?
3. Bagaimana cara setting *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) yang tepat untuk membatasi arus hubung singkat?

4. Bagaimana koordinasi proteksi setelah pemasangan *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa menggunakan software ETAP 11.0
2. Analisa hubung singkat yang dilakukan adalah 3 *phase fault* dan *line to line ½ cycle*, 4 *cycle* serta 30 *cycle*.
3. Pemasangan *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada busbar yang paling kritis untuk membatasi arus hubung singkat.
4. Koordinasi Proteksi yang dilakukan adalah koordinasi proteksi arus lebih untuk gangguan fasa

1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).
2. Mengetahui letak *pemasangan hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada sistem PT. Pindo Deli.
3. Mengetahui *setting hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) untuk membatasi arus yang mengalir ke titik gangguan.
4. Mengetahui cara mengatur koordinasi rele arus lebih untuk gangguan fasa setelah pemasangan *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) di PT Pindo Deli.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Mencari literatur dan ide yang berhubungan dengan tugas akhir. Literatur yang diperlukan meliputi karakteristik *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL), analisa hubung singkat 3 fasa serta koordinasi rele arus lebih pada system kelistrikan.
2. Pengumpulan Data
Melakukan pengumpulan data-data mengenai system kelistrikan PT Pindo Deli dan PT Dian Swastika Sentosa (DSS) yang meliputi

single line diagram serta data-data peralatan seperti rating generator, trafo, motor, bus dan lainnya.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 11.

4. Analisa Data Arus Hubung Singkat

Membahas nilai arus hubung singkat yang terjadi pada masing-masing bus yang terpasang pada PT Pindo Deli.

5. Penarikan Kesimpulan

Memberikan kesimpulan mengenai pemakaian *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) sebagai pereduksi arus hubung singkat yang tepat pada sistem Kelistrikan PT Pindo Deli.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB II : Dasar Teori

Bab ini secara garis besar membahas sistem kelistrikan industri, arus hubung singkat, penjelasan mengenai sistem pengaman, gangguan elektrik yang terjadi pada sistem kelistrikan.

BAB III : Sistem Kelistrikan dan Setup Simulasi PT Pindo Deli.

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada PT Pindo Deli.

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas data hasil arus gangguan hubung singkat pada bus yang disimulasikan kemudian menentukan koordinasi setelah pemasangan hybrid resistive *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) dengan rele arus lebih.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi perusahaan di bidang industri untuk mendesain *Superconducting Fault Current Limiter* sebagai pengaman bila terjadi penambahan kapasitas daya tanpa mengganti bus yang telah terpasang sebelumnya.
2. Dapat dijadikan referensi pada pengembangan pemodelan metode *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik [1]

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut.

1. Faktor Manusia

Faktor ini terutama menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya kesalahan dalam menyambung rangkaian, kesalahan dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman.

2. Faktor Internal

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam system yaitu: usia pakai peralatan yang terlalu tua, tegangan dan arus abnormal, beban lebih, kerusakan material peralatan

3. Faktor Eksternal

Faktor ini meliputi gangguan-gangguan yang berasal dari lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang. Berdasarkan lamanya waktu terjadinya gangguan, maka jenis gangguan pada system tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Gangguan permanen,

Merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

b. Gangguan temporer,

Merupakan gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau pada bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya.

2.2 Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik [2]

Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya, jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

2.2.1 Gangguan Tegangan Lebih (Over Voltage)

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena Faktor eksternal dan internal dari sistem

1. Faktor Internal

Gangguan tegangan lebih akibat faktor internal disebabkan karena adanya gangguan surja hubung. Hal-hal yang mengakibatkan terjadinya surja hubung adalah operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya.

2. Faktor Eksternal

Gangguan tegangan lebih akibat faktor eksternal disebabkan karena adanya sambaran petir (surja petir). Surja petir ini akan merambat atau mengalir menuju ke peralatan yang ada di sistem.

2.2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu: gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

1. Gangguan asimetris

Merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri. Gangguan ini terdiri dari:

- a. Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa
- c. Gangguan hubung singkat dua fasa ketanah

2. Gangguan simetris

Merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari

- a. Gangguan hubung singkat tiga fasa
- b. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

2.2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini

dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif. Gambar rangkaian hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 fasa

V_{LN} = tegangan nominal line to netral

x_1 = reaktansi urutan positif

2.2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya tanpa terhubung ke tanah. Pada gangguan hubung singkat dua fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} x I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 2\phi}$ = Arus hubung singkat 2 fasa

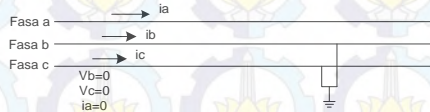
V_{LL} = tegangan nominal *line to line*

x_1 = reaktansi urutan positif

x_2 = reaktansi urutan negative

2.2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat 2 fasa ketanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat 2 fasa ketanah merupakan gangguan hubung singkat asimetris. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

I_{A1} = Arus hubung singkat 2 fasa ketanah

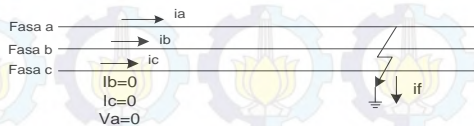
V_{LL} = tegangan nominal *line to line*

x_1 = reaktansi urutan positif

x_2 = reaktansi urutan negatif

2.2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah merupakan jenis gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan asimetris, sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa arus gangguan saat terjadi gangguan. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negative dan komponen urutan nol. Gambar rangkaian hubung singkat satu fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{x_1 + x_2 + x_0} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 1\phi}$ = Arus hubung singkat 1 fasa ketanah

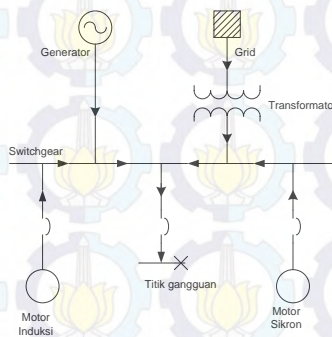
V_{LN} = tegangan nominal line to netral

x_0 = reaktansi urutan nol

x_1 = reaktansi urutan positif

x_2 = reaktansi urutan negative

Semua sumber arus hubung singkat harus dipertimbangkan ketika merancang sistem koordinasi proteksi tenaga listrik. Distribusi arus dan tegangan mulai dari sumber, peralatan listrik lainnya hingga ke titik gangguan merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk diketahui pada sistem proteksi tenaga listrik. Arus hubung singkat yang terjadi akan mengalir menuju titik gangguan. Arus hubung singkat yang timbul disumbangkan oleh beberapa peralatan yaitu generator, grid, motor induksi dan motor sinkron. Besarnya arus hubung singkat dipengaruhi oleh besarnya reaktansi sumber dan reaktansi peralatan yang dilalui arus hubung singkat. Arah aliran arus hubung singkat ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Arah Aliran Arus Hubung Singkat Ketika Terjadi Gangguan

2.2.3 GangguanBeban Lebih (*Over Load*)

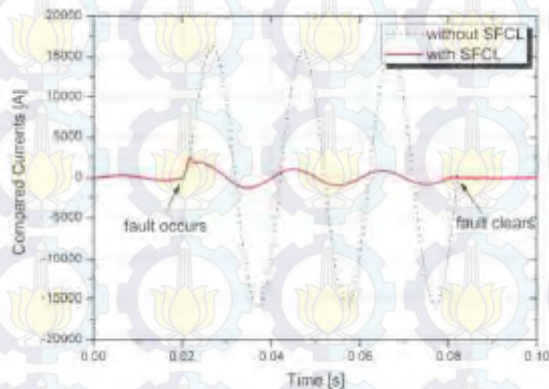
Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi daya listrik melebihi daya listrik yang dihasilkan pada

pembangkit. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.3 Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) [3]

Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) merupakan suatu peralatan yang mampu membatasi arus gangguan yang muncul pada jaringan tenaga listrik [4]. Seiring meningkatnya kapasitas pembangkit serta bertambahnya beban pada sistem tenaga listrik maka akan menyebabkan meningkatnya arus gangguan yang terjadi. Hal ini akan menyebabkan arus gangguan akan melebihi rating dari peralatan. Dengan menggunakan *Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)* maka arus gangguan yang terjadi akan dengan cepat dipotong dengan memanfaatkan impedansi dari *Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)*. *Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)* memiliki impedansi yang sangat rendah ketika dalam kondisi normal namun ketika dalam kondisi gangguan memiliki impedansi yang sangat tinggi

Sebuah *Superconductor Fault Current limiter (SFCL)* dapat membatasi arus hubung singkat dalam waktu kurang dari setengah *cycle*. Ada dua kategori SFCL yaitu *resistive SFCL* dan *saturated ironcore SFCL*. Gambar 2.6 merupakan grafik dari pemotongan arus pada SFCL.

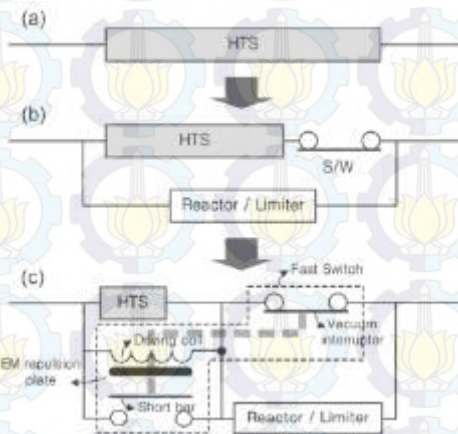


Gambar 2.6 Gelombang Pereduksian Arus Oleh SFCL

2.3.1 Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) [4]

Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) dilengkapi dengan High Temperature Superconductor (HTS). Komponen HTS (High Temperature Superconductor) merupakan

komponen utama dari *resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). Dimana komponen HTS (*High Temperature Superconductor*) terdiri dari *Superconductor* dan pendingin (*cryostat*). *Resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) mulanya hanya terdiri dari komponen HTS. Seiring dengan perkembangan teknologi, *resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) berkembang menjadi *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) dengan *breaker* konvensional serta *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) dengan *fast switch*. Gambar 2.7 menunjukkan perubahan inovasi dari *resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).



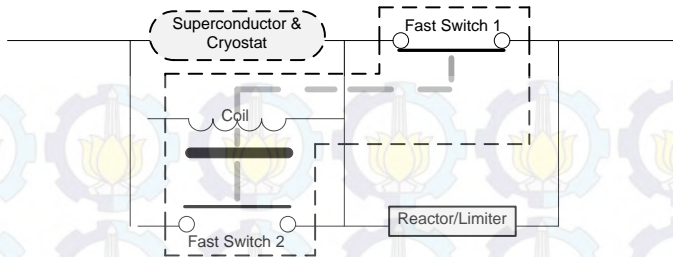
Keterangan:

- a. Resistive SFCL konvensional
- b. Hybrid resistive SFCL dengan breaker konvensional
- c. Hybrid resistive SFCL dengan fast switch

Gambar 2.7. Perubahan Inovasi dari *Resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)

2.4 Hybrid Resistive Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)

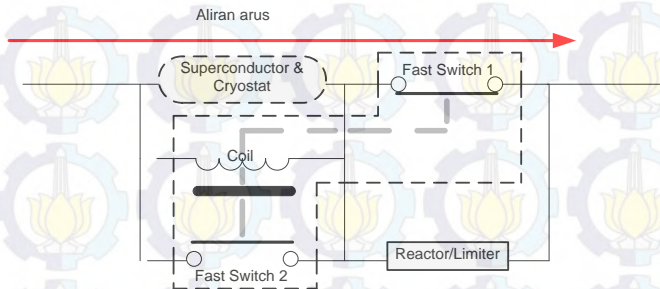
Pada Tugas Akhir ini digunakan *hybrid resistive SFCL* untuk membatasi arus gangguan yang terjadi. *Hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) terdiri dari 3 bagian utama yaitu komponen HTS (*high temperature superconductor*) yang terdiri dari *superconductor* dan pendingin (*Cryostat*), *Fast switch*, dan reaktor/limiter. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok dari *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) [4]



Gambar 2.8 Rangkaian *Hybrid Resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)

2.4.1 Kondisi Operasi Normal

Pada saat kondisi normal arus akan mengalir melalui *superconductor & cryostat* yang terhubung seri dengan *fast switch1*. Pada kondisi normal, temperatur operasi *superconductor* dijaga pada keadaan 77 Kelvin. Pada kondisi ini *Superconductor* menyerupai suatu penghantar tanpa hambatan atau memiliki impedansi sebesar 0 ohm. Gambar 2.9 merupakan rangkaian *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada kondisi operasi normal

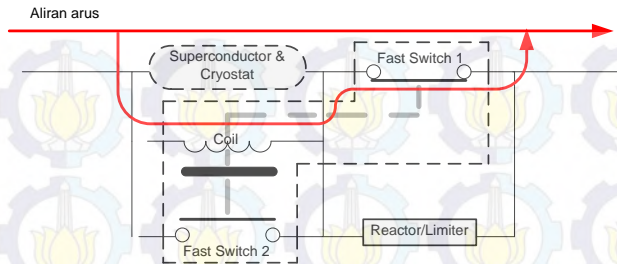


Gambar 2.9 Kondisi Operasi Normal

2.4.2 Sensing Adanya Gangguan

Ketika terjadi suatu gangguan, arus gangguan mengalir melalui *superconductor* sehingga *superconductor* akan menghasilkan panas yang selanjutnya akan meningkatkan nilai resistansi pada *superconductor*. Akibat meningkatnya resistansi pada *superconductor* maka selanjutnya arus gangguan akan mendrive *coil*. Kuat medan magnet yang dihasilkan *coil* akan mendorong *fast switch 1* dan *fast switch 2*. Gambar 2.10

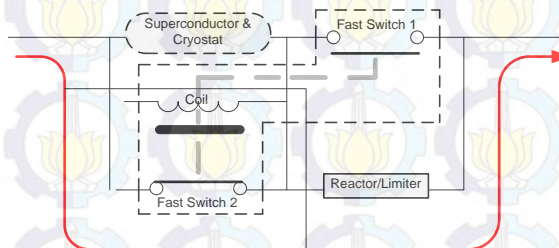
merupakan rangkaian *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada kondisi sensing ketika terjadi arus gangguan



Gambar 2.10 Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan

2.4.3 Kondisi Terjadinya Gangguan Setelah Coil Aktif

Setelah arus gangguan mendrive coil maka selanjutnya *fast switch 1* yang semula *normally close* menjadi *normally open* sedangkan *fast switch 2* yang semula *normally open* menjadi *normally close*. Akibatnya arus gangguan akan mengalir melalui *fast switch 2* dan akan melalui *reactor/ limiter*. Arus gangguan yang melalui *reactor* akan dibatasi sebelum $\frac{1}{2}$ cycle pertama. Gambar 2.11 merupakan rangkaian *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada kondisi terjadi gangguan setelah coil aktif.



Gambar 2.11 Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif

2.5 Pemasangan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) [8]

Ada beberapa cara pemasangan *Superconducting Fault current limiter* (SFCL) untuk mengurangi arus gangguan. Pemasangan *Superconducting Fault current limiter* (SFCL) dapat diletakkan pada operasi parallel dengan 2 sistem dan feeder keluaran serta operasi pada sumber tenaga

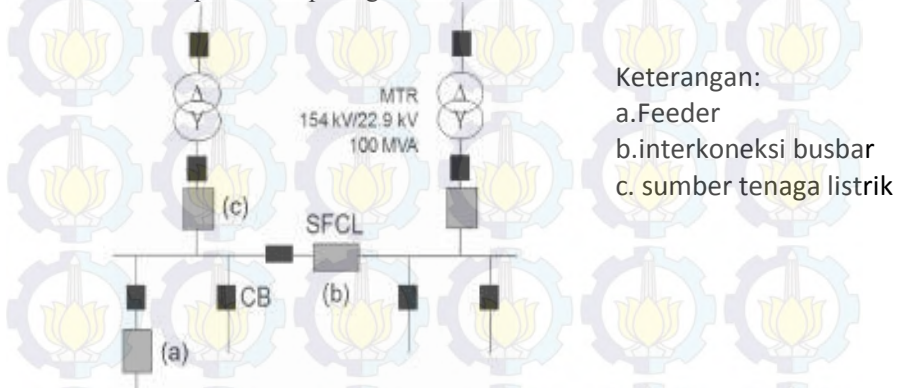
2.5.1 Operasi Parallel dengan 2 Sistem dan Feeder Keluaran

Superconducting Fault current limiter (SFCL) dipasang pada interkoneksi antar system atau pada bagian dari bus. Dimana *Superconducting Fault current limiter (SFCL)* dipasang pada busbar (*switchgear*) yang tidak mampu untuk menahan arus hubung singkat bila. Pemasangan SFCL pada feeder keluaran dapat dilihat pada gambar.

Ada beberapa keuntungan pada operasi ini bilamana dipasang *Superconducting Fault current limiter (SFCL)* :

- Dapat mereduksi arus kontribusi hubung singkat yang menuju titik gangguan
- Peningkatan kehandalan pasokan listrik. Ketika terjadi gangguan tidak sampai menimbulkan pemadaman pada peralatan yang tidak terkena gangguan.
- Menghemat biaya penggantian switchgear baru. Dimana switchgear masih sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat yang terjadi.

Jika terjadi arus hubung singkat pada feeder keluaran, *Superconducting Fault current limiter (SFCL)* akan mereduksi arus gangguan yang menuju switchgear. Yang kemudian arus gangguan diamankan oleh circuit breaker. Pemasangan SFCL pada feeder keluaran dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Pemasangan Superconducting Fault Current Limiter

2.5.2 Operasi pada Sumber Tenaga

Pasokan daya yang mengarah ke beban dengan menggunakan satu generator. Tambahan arus hubung singkat dari generator mengarah pada jaringan melebihi dari kapasitas yang diijinkan. Yang paling tepat untuk solusi tersebut adalah dengan cara pemasangan *Superconducting Fault*

current limiter (SFCL) yang diinterkoneksi dengan jaringan beban. Pemasangan SFCL pada feeder keluaran sumber tenaga (*transformator feeder*) dapat dilihat pada gambar 2.12.

2.6 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Suatu system Tenaga listrik tidak selamanya berjalan ideal, karena dalam kenyataannya dapat terjadi suatu kondisi abnormal (seperti adanya gangguan atau short circuit). Kondisi abnormal tersebut dapat membahayakan system secara keseluruhan, sehingga diperlukan adanya system proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari kondisi abnormal tersebut. Fungsi dari system proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Gangguan pada system tenaga listrik dapat terjadi di pembangkit, jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimanapun gangguan itu terjadi, system proteksi harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin.

Rele proteksi sebagai komponen utama system proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan, harus memenuhi persyaratan keandalan (reliability) sebagai berikut:

1. Sensitivitas
Merupakan kemampuan system proteksi untuk mengidentifikasi adanya ketidaknormalan atau gangguan di dalam daerah yang diproteksinya. Rele harus cukup peka dalam mengidentifikasi adanya gangguan minimum.
2. Selektivitas
Selektivitas suatu system proteksi jaringan tenaga listrik adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain system proteksi. Dalam hal ini rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas).
3. Keamanan
Kemampuan system proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.
4. Kecepatan
Ketika terjadi gangguan, komponen proteksi harus dapat memberikan respon waktu yang tepat, sesuai dengan koordinasi

proteksi yang diinginkan. Waktu pemutusan diusahakan secepat mungkin sehingga dapat mengurangi meluasnya dampak gangguan sehingga kestabilan system menjadi lebih baik

5. Ekonomis

Sistem pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengaman tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengaman juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

2.7 Rele

Rele adalah suatu peralatan pengaman pada sistem tenaga listrik yang bekerja dengan cara menutup kontak-kontak. Biasanya digunakan untuk menggerakkan saklar daya membuka atau menutup bila arus yang melewati telah mencapai suatu nilai yang telah ditentukan. Relai biasanya digunakan untuk mendeteksi gangguan dan mengirimkan sinyal kepada CB dan memutus aliran daya.

Rele proteksi terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima masukan arus dari trafo arus ataupun tegangan dari trafo tegangan atau kombinasi dari keduanya. Dalam beberapa kasus rele melakukan pengukuran atau perbandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluaran dari rele adalah menutup dan ditahan. Jika keadaan tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari CB dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain yang sehat.

Didalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan. Gambar 2.13 merupakan skema konsep kerja rele



Gambar 2.13 Skema Konsep Kerja Rele

2.8 Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai pengaman peralatan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (overload) dan gangguan hubung singkat (short circuit)

2.8.1 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan suatu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_{pp}) maka rele arus lebih bekerja. Dimana I_{pp} merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Bila suatu gangguan terjadi didalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan I_f yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_{pp}$ rele bekerja (trip)

$I_f < I_{pp}$ tidak bekerja (blok)

2.8.2 Setting Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa

Setting rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut Standart British BS 142- 1983 batas penyetelan antara nominal 1,05 – 1,3 I_{set}[9]. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini lebih amannya menggunakan konstanta 1,05 I_{sett}. Jadi untuk *setting* dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal} \quad (2.5)$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{\text{rasio_ct}} \quad (2.6)$$

dimana :

I_s = arus *setting*

Pemilihan tap yang digunakan = I_s / CT

Setelan arus aktual $I_{set} = \text{tap} \times I_n \times CT$

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting*, untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke sisi muara estimasi *setting* ditetapkan[10]:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc LL} \quad (2.7)$$

$I_{sc LL}$ adalah arus hubung singkat 2 fasa dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat 3 fasa pada pembangkitan

minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1,05I_{FLA} < I_s < 0,8 I_{sc} \text{ min} \quad (2.8)$$

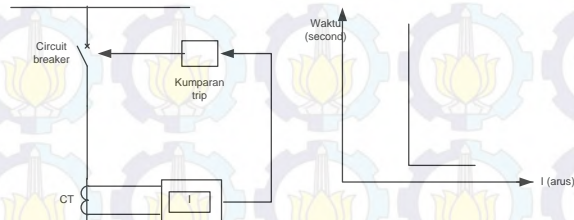
Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus yang lebih karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum.

2.8.3 Karakteristik Rele Arus Lebih

Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain :

2.8.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

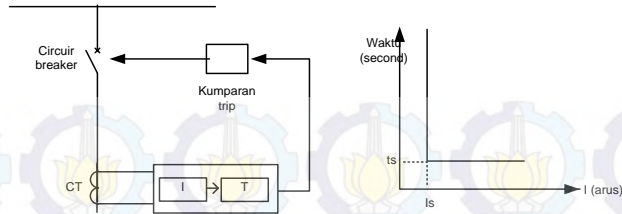
Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Gambar 2.15 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu seketika



Gambar 2.15 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

2.8.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)

Rele ini akan memberikan perintah pada rele pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *setting*, dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele. Gambar 2.16 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu Tertentu



Gambar 2.16 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.8.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dapat dibedakan dalam beberapa kelompok:

- *Normal inverse*
- *Very inverse*
- *Extreemely inverse*
- *Long inverse*

Adapun karakteristik operasi rele invers adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan standard ANSI kurva IEEE [6]

$$t_d(I) = \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^P - 1} + B \right] \times \frac{T}{\beta} \quad (2.9)$$

Tabel 2.1 Konstansta Kurva IEEE

Characteristic curve	A	B	P	β
IEEE Moderately Inverse	0.010	0.023	0.02	0.241
IEEE Very Inverse	3.922	0.098	2	0.138
IEEE Extremely Inverse	5.64	0.0243	2	0.081

Jadi didapatkan persamaan untuk IEEE very inverse:

$$t_d(I) = \left[\frac{3.922}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1} + 0.098 \right] \times \frac{T}{0.138} \quad (2.10)$$

T = time setting = time dial

t_d = waktu operasi

2. Berdasar Standart IEC [2]

Karakteristik operasi rele invers:

a. Standart inverse:

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ s} \quad (2.11)$$

b. Very inverse

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \text{ s} \quad (2.12)$$

c. Extremely Inverse

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)} \text{ s} \quad (2.13)$$

d. Long Time Inverse

$$t = \frac{120}{(I - 1)} \text{ s} \quad (2.14)$$

dimana :

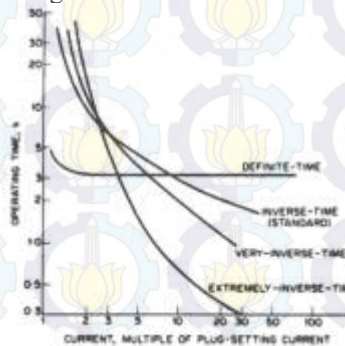
t = tap rele

$$I = \frac{I_f}{I_{set}} \quad (2.15)$$

I_f = I gangguan

I_{set} = arus setting actual

D = time setting time dial



Gambar 2.17 Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT PINDO DELI

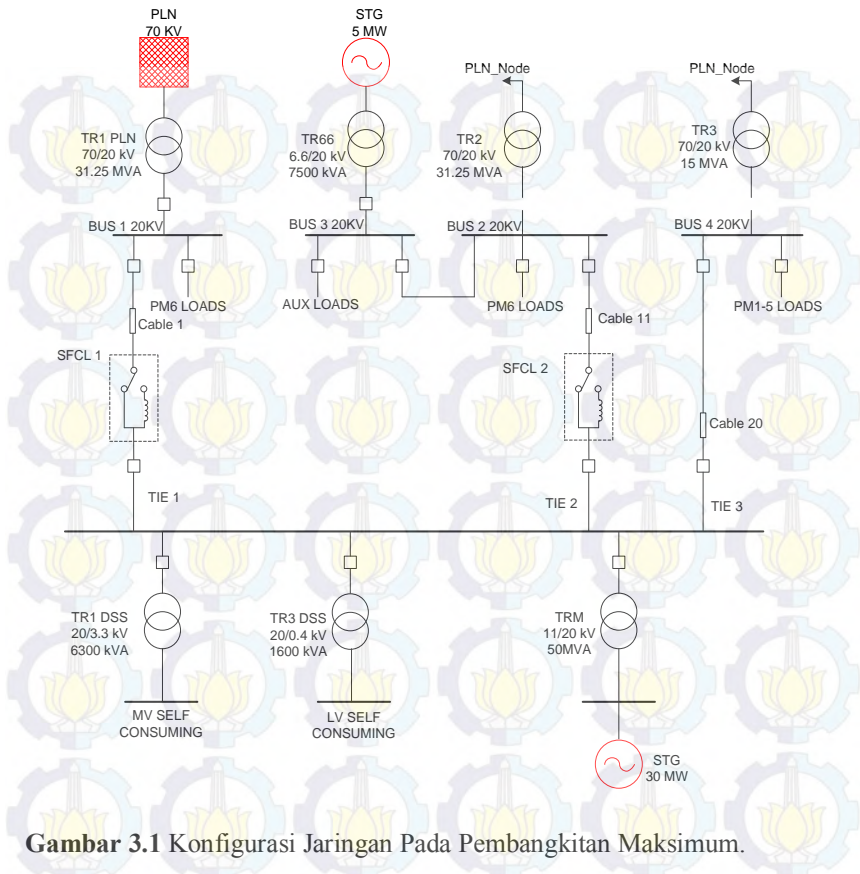
Sistem kelistrikan PT Pindo Deli terintegrasi dengan sistem kelistrikan PT Dian Swastika Sentosa (DSS). Dimana sistem pembangkitan utama berada di PT Dian Swastika Sentosa (DSS) sedangkan pusat beban berada di PT Pindo Deli. Sistem Integrasi kelistrikan antara PT Pindo Deli dengan PT Dian Swastika Sentosa (DSS) akan berdampak pada meningkatnya arus hubung singkat yang terjadi pada switchgear. Meningkatnya arus hubung singkat disebabkan semakin banyaknya sumber atau generator pada system jaringan distribusi. Maka diperlukan studi agar sistem pengaman pada jaringan distribusi tidak mengalami gangguan disaat terjadi arus hubung singkat akibat integrasi system kelistrikan PT Pindo Deli dengan PT Dian Swastika Sentosa (DSS)

3.1 Sistem Jaringan Tenaga Listrik di PT Pindo Deli

Sistem Distribusi pada PT Pindo Deli merupakan sistem distribusi radial. Pada awalnya suplai daya PT Pindo Deli sebesar 70 kV yang berasal dari grid PLN. Akibat bertambahnya beban serta kebutuhan daya listrik maka dilakukan integrasi system kelistrikan dengan PT Dian Swastika Sentosa (DSS) dengan daya sebesar 30 MW serta penambahan daya generator di PT Pindo Deli sebesar 5 MW. Dengan adanya pengintegrasian tersebut akan mengakibatkan arus hubung singkat bertambah. Arus hubung singkat maksimum pada sistem diperoleh pada saat pembangkitan maksimum. Pembangkitan maksimum adalah ketika jumlah pembangkit yang terhubung ke jaringan 20kV paling banyak. Tabel 3.1 adalah kapasitas dari pembangkit yang ada di PT Pindo Deli dan PT DSS. Sesuai dengan pola operasinya, sistem integrasi di plant PT DSS dan PT Pindo Deli, arus hubung singkat paling tinggi diperoleh ketika STG 30 MW dan 5 MW serta satu transformator 31.25 MVA terhubung ke jaringan 20-kV. Gambar 3.1 menunjukkan konfigurasi sistem kelistrikan PT Pindo Deli dengan PT DSS.

Tabel 3.1 Data Kapasitas dan Impedansi Sub-transien Pembangkit di PT Pindo Deli dan PT DSS

Generator	Lokasi	Kapasitas (MVA)	KV	Xd"
STG_EMG 5 MW	PINDO DELI	5.882	6.6	12%
STG 30 MW	PT DSS	37.5	11	11.84%



Gambar 3.1 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan Maksimum.

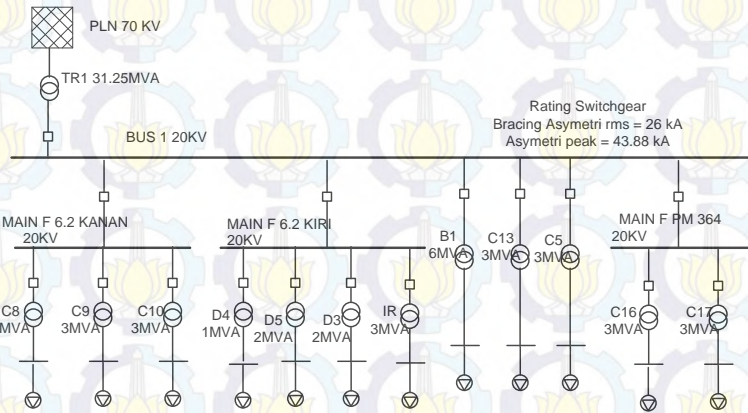
3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik di PT Pindo Deli

Sistem kelistrikan di PT Pindo Deli terintegrasi dengan PT DSS. Dimana seluruh beban utama berada pada bagian PT Pindo Deli. Sedangkan pembangkitan utama menggunakan STG 30 MW yang berada di PT DSS. Seluruh daya dari generator STG 30 MW disalurkan melalui saluran distribusi 20 kV melalui bus DSS Main. Daya dari STG 30 MW yang akan disalurkan menuju PT Pindo Deli terlebih dahulu label tegangannya dinaikkan menjadi 20 kV oleh transformator TRM 11/20 kV dengan daya 50 MVA. Pendistribusian daya listrik dari Bus utama ke beban pada masing-masing substation menggunakan

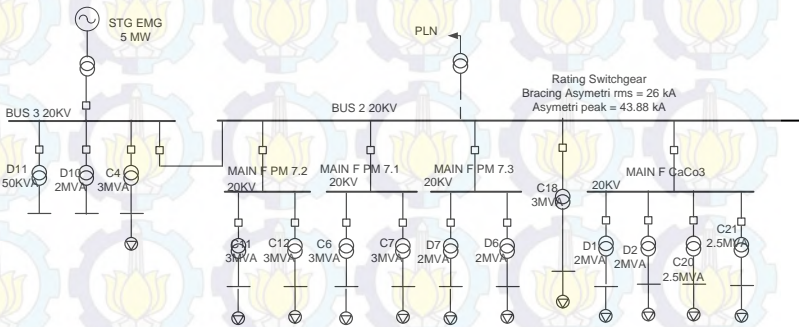
transformer dari 20/0.4-kV. Untuk beban pemakaian sendiri PT DSS menggunakan transformator 20/3.3-kV.

3.2.1 Data Beban di PT Pindo Deli

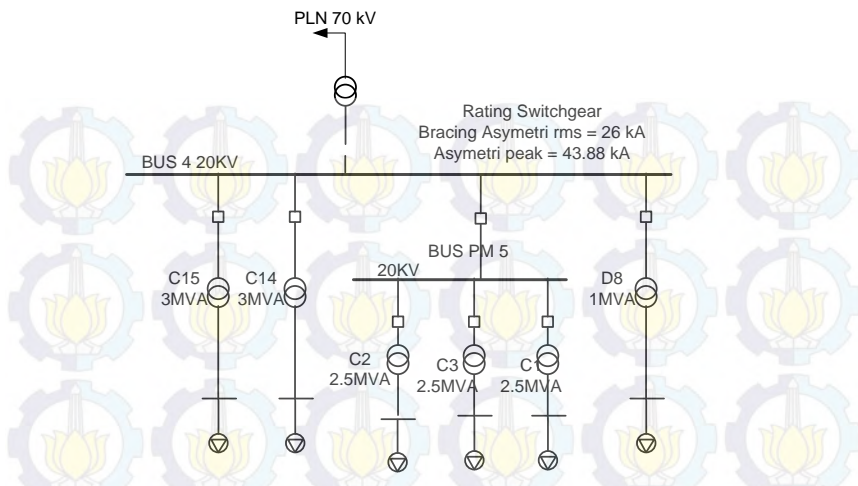
Beban-beban di PT. Pindo Deli dibagi menjadi tiga kelompok sesuai dengan jumlah substation yakni PM6, PM7 dan PM1-5. Gambar 3.2 s/d gambar 3.4 menunjukkan substation PM6, PM7 dan PM1-5. Tabel 3.2 memperlihatkan pembagian substation dan kebutuhan daya beban di PT. Pindo Deli.



Gambar 3.2 Single Line Diagram PM 6 atau BUS 1



Gambar 3.3 Single Line Diagram Substasion PM 7 atau BUS 2

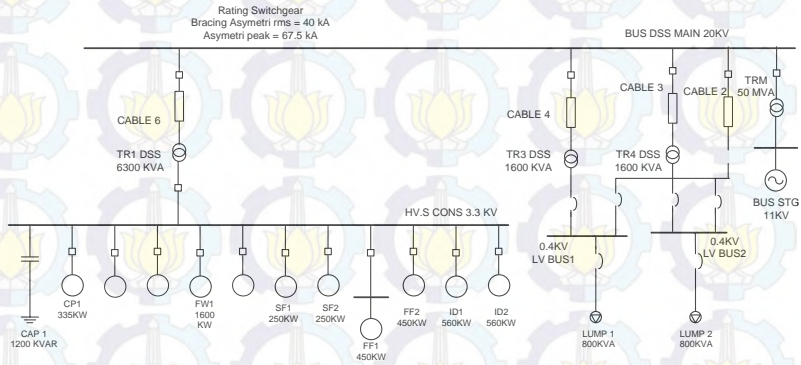


Gambar 3.4 Single Line Diagram Substasion PM 1-5 atau BUS 4

Tabel 3.2 Pembagian Substation dan Kebutuhan Daya beban di PT. Pindo Deli.

Transformer	Substation	Power (kW)
TR-1	6.1 3000 (STOCK 6 (3.3kV))	1341
	6.1 6000 (STOCK 6)	2683
	6.2 KIRI (OMC 2)	2466
	6.2 KANAN (PM 6)	3014
	6.3 (COLOR KITCHEN & KOMPRESOR)	914
	PM 3/4 and OMC-1	3104
	SUB TOTAL	13522
TR-2	7.1 (STOCK 7)	3346
	7.2 (PM 7)	3544
	7.3 (FINISHING 6 / 7)	1768
	DEINKING	1738
	CaCO ₃ 1, 2, and 3	3048
	TOWER TANK & MESS	1110
	SUBTOTAL	14554
TR-3	STOCK 3/4	1434
	PM 1/2	1663
	PM 5	2651
	WATER SUPPLY (FWT GEROWONG)	209
	SUBTOTAL	5957
TOTAL		34032

Selain beban di PT. Pindo Deli, terdapat beban untuk mendukung sistem internal pembangkitan di PT. DSS yang dikelompokkan sebagai beban motor-motor tegangan menengah 3.3-kV dan beban tegangan rendah 0.4-kV. Gambar 3.5 dan gambar 3.6 adalah single line diagram dari PT DSS. Tabel 3.2 yang menunjukkan daya rating dan operasi motor tegangan menengah.



Gambar 3.5 Single Line Diagram PT DSS

Tabel 3.3. Beban Penunjang Sistem Internal STG 30-MW PT. DSS.

ID	Description	Rated kW	Operating kW
FW1	MOTOR FEED WATER_1	1600	1309.67
FW2	MOTOR FEED WATER_2	1600	0
ID1	MOTOR INDUCED DRAFT FAN_1	560	422.22
ID2	MOTOR INDUCED DRAFT FAN_2	560	413.39
FF1	MOTOR FIRST FAN_1	450	307.66
FF2	MOTOR FIRST FAN_2	450	307.72
SF1	MOTOR SECOND FAN_1	250	102.52
SF2	MOTOR SECOND FAN_2	250	90.7
CP1	MOTOR CIRCULATING_1	335	202.51
CP2	MOTOR CIRCULATING_2	335	0
CP3	MOTOR CIRCULATING_3	335	0
Total			3156

3.2.2 Data Switchgear/bus di PT Pindo Deli

Tabel 3.4 merupakan kemampuan bus utama dalam menahan arus hubung singkat yang terjadi. Nilai arus tersebut digunakan untuk menghitung kemampuan switchgear menahan amplitudo maksimum atau peak arus hubung singkat (*Bracing Crest*).

Tabel 3.4 Data Kemampuan Hubung Singkat Switchgear

ID	Voltage (KV)	Eksisting	
		I Asymetrical (rms)	Bracing Peak (kA)
BUS 1	20	26	43.88
BUS 2	20	26	43.88
BUS 3	20	26	43.88
BUS 4	20	26	43.88
DSS MAIN	20	40	67.5

Tabel 3.4 menunjukkan nilai kapasitas symetri arus hubung singkat dan nilai peak pada masing-masing bus. Nilai tersebut sebagai acuan arus hubung singkat yang terjadi pada masing-masing bus. Bila besarnya arus hubung singkat melebihi dari kapasitas switchgear maka perlu pengamanan tambahan agar untuk mengamankan peralatan.

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Pemodelan Peningkatan Resistansi dan Temperatur pada Superconductor

Penerapan SFCL yang digunakan pada Tugas Akhir adalah *hybrid resistive Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). Dimana *hybrid resistive* SFCL termasuk dalam jenis *resistive* SFCL. Pada *hybrid resistive* SFCL ini *superconductor* tidak difungsikan sebagai pereduksi arus hubung singkat namun difungsikan sebagai sensing adanya arus hubung singkat yang kemudian arus hubung singkat dialihkan menuju *current limiting reactor* (CLR) dengan bantuan *fast switch* dengan memanfaatkan peningkatan resistansi pada *superconductor*. Peningkatan resistansi pada *superconductor* dipengaruhi oleh perubahan temperatur terhadap waktu pada *superconductor*.

Besarnya resistansi *superconductor* terhadap waktu ditunjukkan pada persamaan (4.1). Dimana $E(t,T)$ merupakan medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur. $J(t)$ merupakan kerapatan arus yang berubah terhadap waktu. Sedangkan I_{sc} dan A_{sc} merupakan panjang dan luas *superconductor* yang digunakan. Besarnya nilai medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur ditunjukkan pada persamaan (4.2).

$$R_{sc} = \frac{E(t,T) I_{sc}}{J(t) A_{sc}} \quad (4.1)$$

$$E(t, T) = \rho \left(\frac{T}{T_c} \right) J(t), \quad T(t) \geq T_c \quad (4.2)$$

Besarnya perubahan temperatur terhadap waktu dapat ditunjukkan pada persamaan (4.3).

$$T(t) = T_a + \frac{1}{C_{sc}} \int_0^t [Q_{sc}(t) - Q_{removed}(t)] dt \quad (4.3)$$

Dimana T_a merupakan temperatur awal *superconductor* ketika nilai resistansi pada *superconductor* bernilai 0 ohm. C_{sc} merupakan kapasitas panas *superconductor*. $Q_{sc}(t)$ merupakan disipasi panas *superconductor* yang berubah terhadap waktu. $Q_{removed}(t)$ merupakan panas yang dihilangkan oleh sistem pendingin yang berubah terhadap waktu.

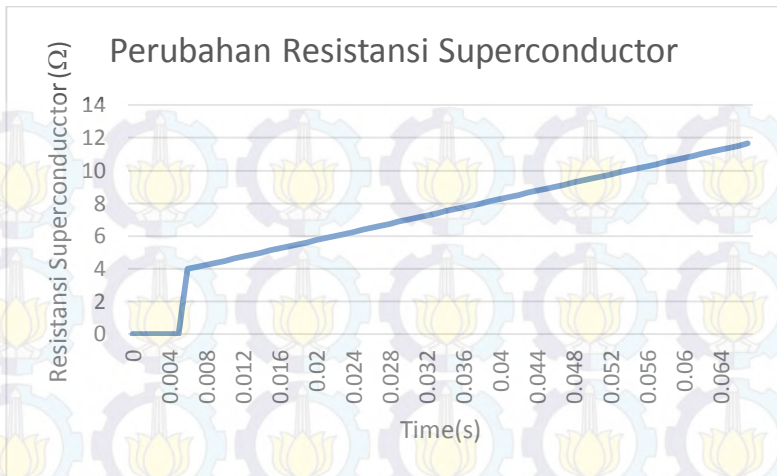
Besarnya nilai resistansi akan bersifat linier terhadap temperatur ketika $T(t) \geq T_c$ seperti yang terlihat pada persamaan (4.2). Parameter

yang diperlukan untuk memodelkan peningkatan resistansi terhadap temperature dapat diperoleh dari tabel 4.1.

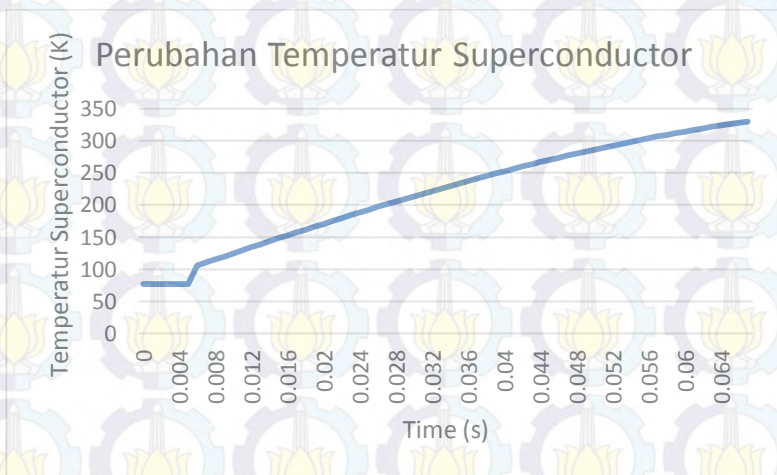
Tabel 4.1 Parameter Pemodelan Peningkatan Resistasi Terhadap Temperatur.

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Panjang <i>Superconductor</i>	l_{sc}	50	M
Diameter <i>Superconductor</i>	d_{sc}	$4 \cdot 10^{-3}$	m
Luas Penampang <i>Superconductor</i>	a_{sc}	$\pi \left(\frac{d_{sc}}{2} \right)^2$	m^2
Temperatur Awal <i>Superconductor</i> pada keadaan normal	T_a	77	K
Temperatur Kritis <i>Superconductor</i>	T_c	95	K
Kerapatan Arus	$J(t)$	$\frac{i_{sc}(t)}{a_{sc}}$	A/m^2
Tahanan Jenis	P	$1 \cdot 10^{-6}$	Ωm
Koefisien <i>Transfer Panas</i> pada Tempat Pendinginan	K	$1 \cdot 10^3$	W/Km^2
<i>Spesifik Volumetric</i> Panas <i>Superconductor</i>	c_v	$1 \cdot 10^6$	J/Km^3
Kapasitas Panas <i>Superconductor</i>	c_{sc}	$l_{sc} a_{sc} c_v$	J/K
Resistansi <i>Thermal Superconductor</i> pada Pendingin	θ_{sc}	$\frac{1}{k l_{sc} \pi d_{sc}}$	K/W
Disipasi Panas <i>Superconductor</i>	$Q_{sc}(t)$	$\int i_{sc}(t)^2 R_{sc}(t) dt$	J
Panas yang Dihilangkan Oleh Sistem Pendingin	$Q_{removed}(t)$	$\int \frac{T(t) - T_a}{\theta_{sc}}$	J
Resistansi <i>Superconductor</i>	$R_{sc}(t)$	$\frac{E(t, T) l_{sc}}{J(t) a_{sc}}$	Ω

Dengan memasukkan nilai sesuai parameter diatas maka akan didapatkan nilai peningkatan resistansi dan peningkatan temperatur yang terlihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2



Gambar 4.1 Perubahan Resistansi *Superconductor*



Gambar 4.2 Perubahan Temperature Superconductor

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa dalam keadaan normal atau sebelum adanya hubung singkat nilai resistansi superkonduktor bernilai 0 ohm. Sedangkan pada gambar 4.2 terlihat bahwa nilai temperature superconductor dalam keadaan normal sebesar 77 Kelvin. Ketika terjadi hubung singkat pada 0.005 detik maka nilai resistansi akan naik drastis

dan secara linear bersamaan dengan nilai temperatur pada *superconductor*.

4.2 Analisa Hubung Singkat dan Kemampuan Peralatan

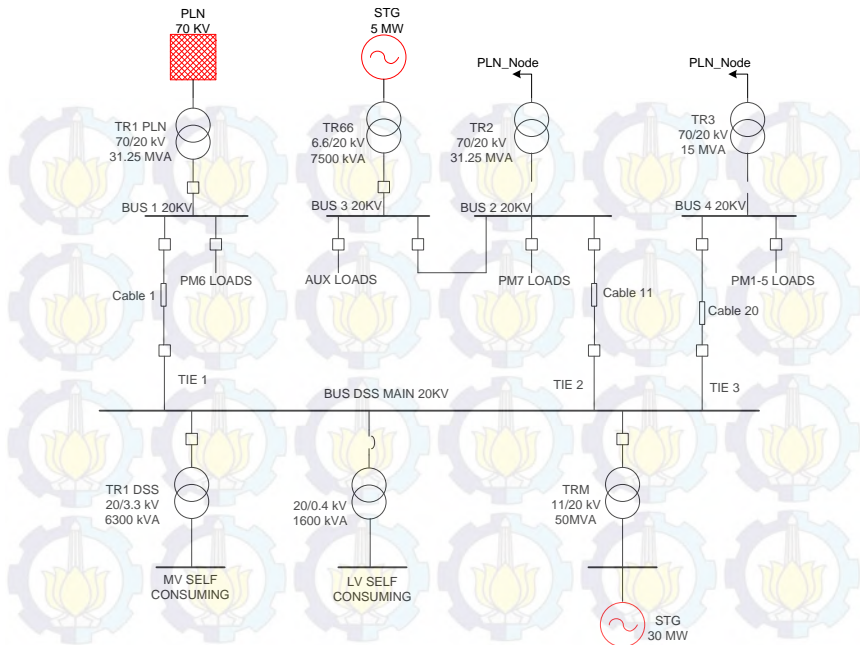
Pada Tugas Akhir ini dibahas mengenai aplikasi penggunaan dari *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) sebagai sistem pengaman peralatan di PT Pindo Deli. Analisa hubung singkat dilakukan pada masing-masing busbar dengan menggunakan software ETAP 11.0. Dengan melakukan analisa hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle selanjutnya dapat diketahui busbar mana saja yang arus hubung singkatnya melebihi rating dari kemampuan *bracing* busbar atau dalam keadaan kritis. Setelah mengetahui *switchgear* mana saja yang dalam keadaan kritis maupun tidak mampu menahan arus hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle, maka selanjutnya diletakkan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) untuk melindungi busbar tersebut. Penggunaan SFCL ini digunakan sebagai pereduksi adanya arus hubung singkat yang menuju busbar yang dalam keadaan kritis. Untuk memodelkan gelombang arus hubung singkat dapat dilakukan dengan menggunakan metode *transien* IEC 61361.

Untuk mengetahui kondisi busbar maka perlu dilakukan analisa hubung singkat 3fasa $\frac{1}{2}$ cycle dengan beberapa studi kasus pembangkitan sistem tenaga listrik pada PT Pindo Deli dan PT DSS. Berikut beberapa studi kasus pembangkitan sistem tenaga listrik pada PT Pindo Deli dan PT DSS.

- Pembangkitan maksimum, STG 30MW, PLN 70kV, STG 5MW
- STG 30MW dan PLN 70kV.
- STG 5MW dan PLN 70kV.
- STG 30 MW dan STG 5 MW.
- Pembangkitan minimum: STG 30MW.

4.2.1 Pembangkitan Maksimum

Pembangkitan maksimum pada sistem kelistrikan PT Pindo Deli dan PT DSS diperoleh ketika STG 30 MW interkoneksi dengan STG 5 MW dan PLN 70 kV. Sistem interkoneksi ini dirancang untuk memenuhi suplai kebutuhan daya pada PT Pindo Deli. Konfigurasi jaringan pada pembangkitan maksimum ditunjukkan pada gambar 4.3. Warna merah pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa PLN 70 kV, STG 30 MW, STG 5 MW dalam keadaan beroperasi. Data kemampuan *switchgear* masing-masing bus pada PT Pindo Deli dan PT DSS ditunjukkan pada tabel 4.2.



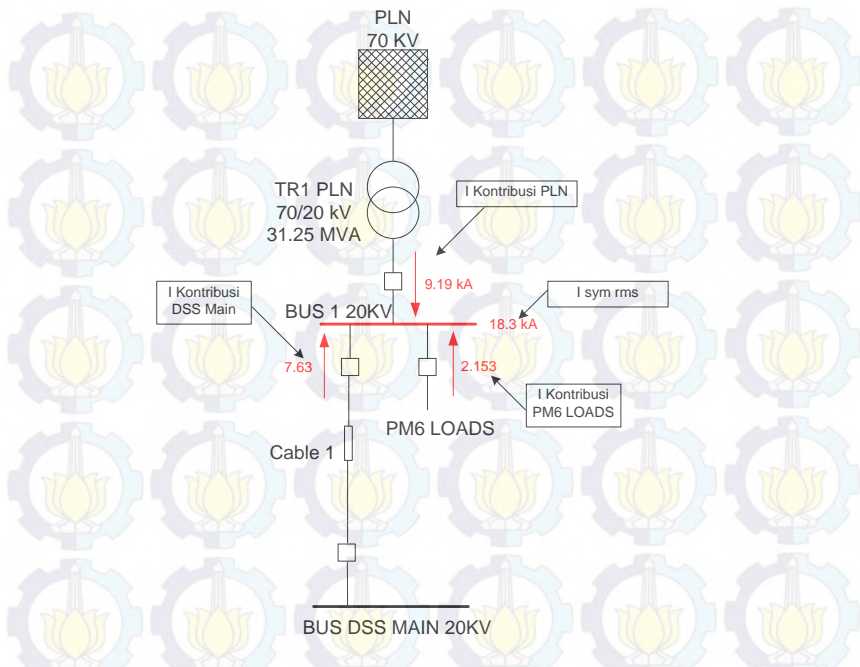
Gambar 4.3 Konfigurasi Jaringan pada Pembangkitan Maksimum

Tabel 4.2 Data Eksisting Kemampuan Busbar/ Switchgear

ID Bus	Bracing Asimetri kA rms	Bracing Peak kA
Bus 1	26	43.88
Bus 2	26	43.88
Bus 3	26	43.88
Bus 4	26	43.88
Bus DSS Main	40	67.5

Kontribusi arus hubung singkat pada bus 1 berasal dari *feeder* yakni PLN 70 kV, bus DSS Main, serta kumpulan beban pada PM6. Ketika dilakukan hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 1 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 7.63 kA, *feeder* PLN setelah melalui trafo TR1 PLN menyumbang arus kontribusi sebesar 9.19 kA sedangkan kumpulan beban pada PM6 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.543 kA. Gambar 4.4 menunjukkan arah dan nilai arus

kontribusi hubung singkat pada bus 1 ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat tiga fasa pembangkitan maksimum pada bus 1 ditunjukkan tabel 4.3.



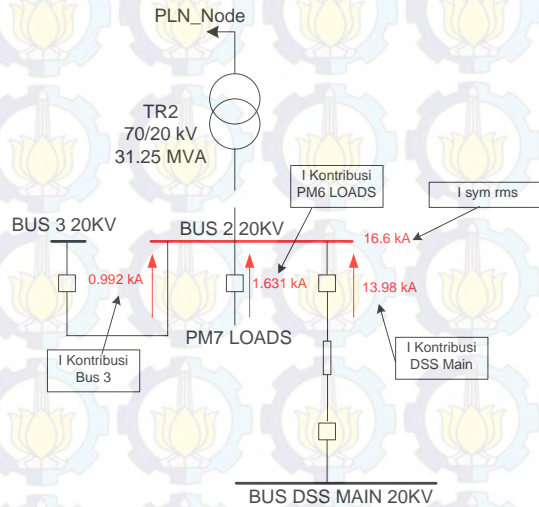
Gambar 4.4 Nilai Arus Kontribusi pada Bus 1 Pembangkitan Maksimum pada Simulasi ETAP

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum pada Bus 1

ID	I kont PLN (kA)	I Kont Bus DSS (kA)	I kont Beban PM6 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 1	9.19	7.63	1.543	18.3	28.703*	47.980*

Pada bus 2, kontribusi arus hubung singkat berasal dari *feeder* bus DSS Main, bus 3 serta kumpulan beban pada PM7. Ketika dilakukan hubung singkat ½ cycle pada bus 2 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 13.98 kA, bus 3 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.992 kA sedangkan kumpulan beban pada PM7

menyumbang arus kontribusi sebesar 1.631 kA. Gambar 4.5 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat tiga fasa pada bus 2 ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat tiga fasa pembangkitan maksimum pada bus 2 ditunjukkan tabel 4.4.

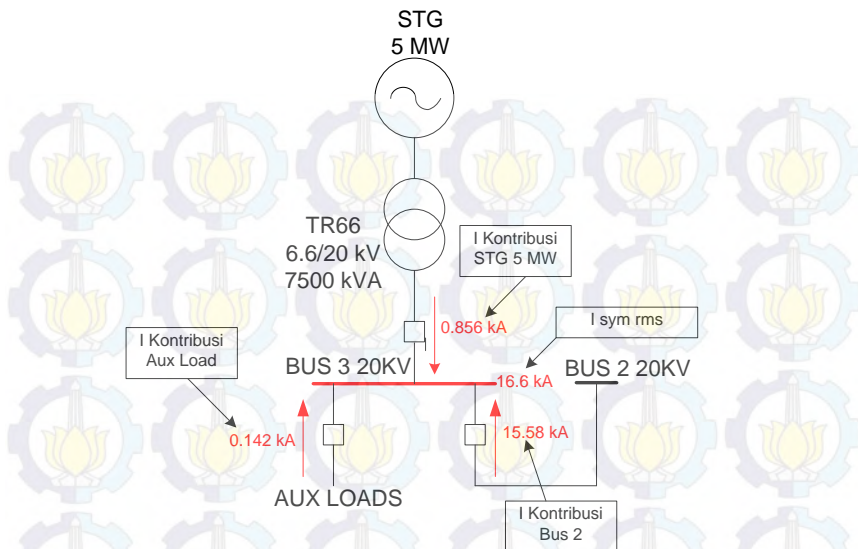


Gambar 4.5 Nilai Arus Kontribusi pada Bus 2 Pembangkitan Maksimum pada Simulasi ETAP

Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum pada Bus 2

ID	I kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Bus 3 (kA)	I Kont Beban PM7 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 2	13.98	0.992	1.631	16.6	23.741	40.434

Kontribusi arus hubung singkat pada bus 3 berasal dari *feeder* STG 5MW, bus 2, serta beban *auxiliary*. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 3 terlihat bahwa arus kontribusi *feeder* STG 5MW setelah melewati TR66 sebesar 0.856 kA, *feeder* bus 2 menyumbang arus kontribusi sebesar 15.58 kA. Sedangkan besarnya nilai kontribusi arus hubung singkat pada beban *auxiliary* sebesar 0.142. Gambar 4.6 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat tiga fasa pada bus 3 ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat tiga fasa pembangkitan maksimum pada bus 3 ditunjukkan tabel 4.5.

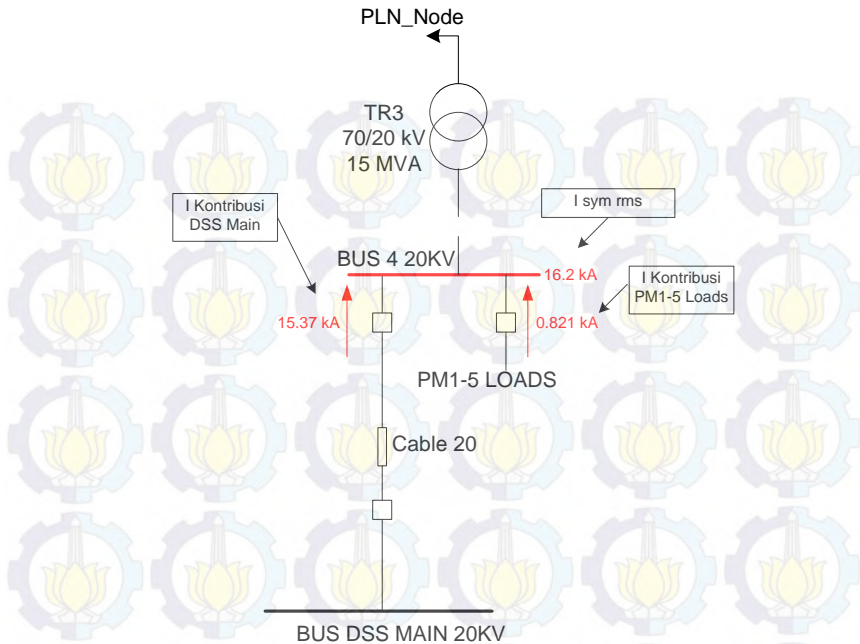


Gambar 4.6 Nilai Arus Kontribusi pada Bus 3 Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum Pada Bus 3

ID	I Kont STG 5 MW (kA)	I Kont Bus 2 (kA)	I Kont Beban Auxiliary (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms(kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 3	0.856	15.58	0.142	16.6	23.741	40.434

Pada bus 4, kontribusi arus hubung singkat berasal dari feeder bus DSS Main, serta kumpulan beban pada PM1-7. Ketika dilakukan hubung singkat ½ cycle pada bus 4 terlihat bahwa feeder DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 15.37 kA, sedangkan kumpulan beban pada PM1-5 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.821 kA. Gambar 4.5 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat tiga fasa pada bus 4 ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat tiga fasa pembangkitan maksimum pada bus 4 ditunjukkan tabel 4.6.



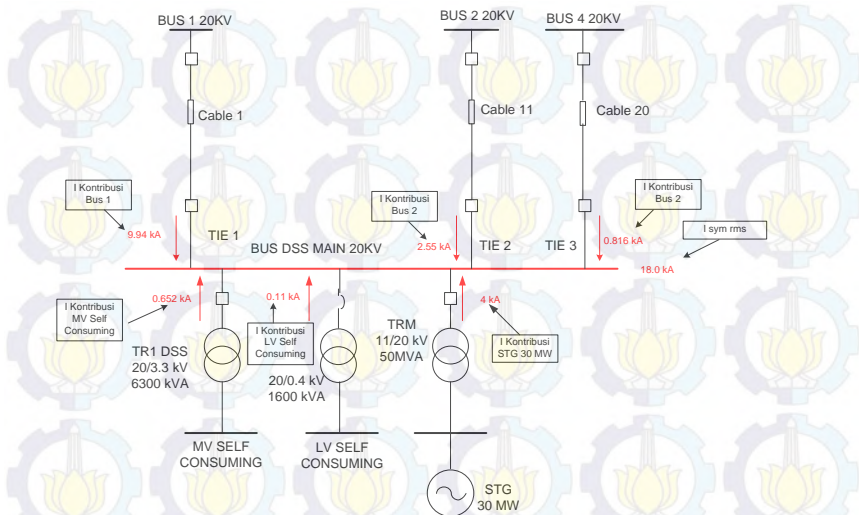
Gambar 4.7 Nilai Arus Kontribusi pada Bus 4 Pembangkitan Maksimum Pada Simulasi ETAP

Tabel 4.6 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Maksimum Pada Bus 4

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Beban PM 1-5 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asimetri Rms (kA)	I Asimetri Peak (kA)
BUS 4	15.37	0.821	16.2	22.795	38.938

Kontribusi arus hubung singkat pada bus DSS Main berasal dari berbagai macam feeder yakni bus 1, bus 2, bus 4, STG 30 MW serta feeder medium voltage self consuming dan high volage self consuming. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus DSS Main terlihat bus 1 menyumbang arus kontribusi sebesar 9.94 kA, bus 2 sebesar 2.55 kA, bus 4 sebesar 0.816 kA, STG 30 MW setelah melalui trafo TRM menyumbang arus kontribusi sebesar 4.0 kA serta arus kontribusi medium voltage self consuming sebesar 0.652 dan low voltage self consuming sebesar 0.11 kA. Gambar 4.8 menunjukkan arah dan nilai arus

kontribusi hubung singkat pada bus DSS Main ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus DSS Main ditunjukkan tabel 4.7.



Gambar 4.8 Nilai Arus Kontribusi Pada Bus DSS Main Pembangkitan Maksimum pada Simulasi ETAP

Tabel 4.7 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa pada Bus DSS Main Pembangkitan Maksimum

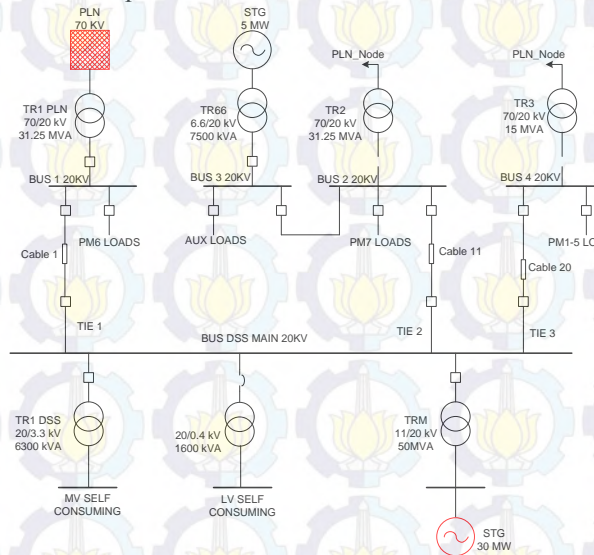
ID	I Kont Bus1 (kA)	I Kont Bus2 (kA)	I Kont Bus4 (kA)	I kont STG 30 MW (kA)	I kont Beban Low Voltage	I kont Beban Medium Voltage	I Sym Rms (kA)	I Asymm Rms (kA)	I Asymm Peak (kA)
BUS DSS Main	9.94	2.55	0.816	4	0.11	0.652	18.0	27.805	46.647

Berdasarkan data hubung singkat pada pembangkitan maksimum terlihat bahwa hanya bus 1 yang mengalami arus bracing peak $\frac{1}{2}$ cycle yang melebihi dari rating switchgearnya yaitu 43.88 kA. Sedangkan arus puncak yang mengalir pada switchgear sebesar 47.980 kA.

4.2.2 Pembangkitan STG 30MW dan PLN 70 kV

Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV terjadi ketika STG 5MW yang dimiliki PT Pindo Deli tidak digunakan atau sedang mengalami perbaikan. Sehingga suplai daya pada bus 2 dan 3 hanya

berasal dari sumber STG 30 MW PT DSS. Konfigurasi jaringan pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV ditunjukkan pada gambar 4.9. Warna merah pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa STG 30MW dan PLN 70 kV dalam keadaan beroperasi sedangkan STG 5 MW dalam keadaan tidak beroperasi.



Gambar 4.9 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV

Pada pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 1 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 6.89 kA, *feeder* PLN setelah melalui trafo TR1 PLN menyumbang arus kontribusi sebesar 9.19 kA sedangkan kumpulan beban pada PM6 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.543 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 1 ditunjukkan tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 1

ID	I Kont PLN (kA)	I Kont Bus DSS (kA)	I Kont Beban PM6 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 1	9.19	6.89	1.543	17.5	27.585*	46.091*

Pada bus 2, Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 2 terlihat feeder DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 15.98 kA, bus 3 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.199 kA sedangkan kumpulan beban pada PM7 menyumbang arus kontribusi sebesar 2.232kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 2 ditunjukkan tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 2

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Bus 3 (kA)	I Kont Beban PM7 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 2	13.98	0.142	1.631	15.7	22.205	37.914

Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 3 terlihat feeder STG 5MW tidak menyumbang arus kontribusi sebab pada kondisi pembangkitan ini STG 5 MW tidak beroperasi, feeder bus 2 menyumbang arus kontribusi sebesar 15.58 kA, sedangkan beban auxiliary menyumbang arus hubung singkat sebesar 0.142. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 3 ditunjukkan tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 3

ID	I Kont STG 5 MW (kA)	I Kont Bus 2 (kA)	I Kont Beban Auxiliary (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 3	-	15.58	0.142	15.7	22.205	37.914

Pada bus 4, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 4 terlihat bahwa feeder DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 14.71 kA, sedangkan kumpulan beban pada PM1-5 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.821 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 4 ditunjukkan tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus 4

ID	I Kontribusi Bus DSS Main (kA)	I Kontribusi Beban PM 1-5 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 4	14.71	0.821	15.5	21.906	37.404

Pada bus DSS Main Kontribusi arus hubung singkat berasal dari berbagai macam feeder yakni bus 1, bus 2, bus 4, STG 30 MW serta *feeder Low Voltage* dan *High Voltage*. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus DSS Main terlihat bus 1 menyumbang arus kontribusi sebesar 9.94 kA, bus 2 sebesar 1.75 kA, bus 4 sebesar 0.816 kA, STG 30 MW setelah melalui trafo TRM menyumbang arus kontribusi sebesar 4.0 kA serta arus kontribusi feeder High Voltage sebesar 0.652 dan Low Voltage sebesar 0.11 kA. Gambar 4.8 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat pada bus DSS Main ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus DSS Main ditunjukkan tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan PLN 70 kV pada Bus DSS Main

ID	I Kont Bus1 (kA)	I Kont Bus2 (kA)	I Kont Bus4 (kA)	I kont STG 30 MW (kA)	I Kont Beban Low Voltage	I kont Beban High Voltage	I Symetri Rms (kA)	I Asymm Rms (kA)	I Asymm Peak (kA)
BUS DSS Main	9.94	1.75	0.816	4	0.11	0.652	17.2	26.483	44.446

Berdasarkan data hubung singkat pada pembangkitan STG 30 MW & PLN 70 kV terlihat bahwa hanya bus 1 yang mengalami arus bracing peak $\frac{1}{2}$ cycle yang melebihi dari rating *switchgear* yaitu 43.88 kA. Sedangkan arus puncak yang mengalir pada *switchgear* sebesar 46.091 kA. Namun besarnya arus puncak menurun jika dibandingkan dengan kondisi pembangkitan maksimum. Hal ini dikarenakan STG 5MW dalam keadaan tidak beroperasi.

4.2.3 Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5 MW

Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW terjadi ketika sumber dari PLN sedang tidak bekerja atau ketika terjadi pemadaman. Sehingga walaupun PLN tidak beropersai PT Pindo Deli tetap bisa memproduksi karena sumber listrik utama bukan dari PLN melainkan dari STG 30MW dan STG 5MW. Konfigurasi jaringan pada pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW ditunjukkan pada gambar 4.10.. Warna merah pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa STG 30 MW, STG 5 MW dalam keadaan beroperasi.



Tabel 4.13 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 1

ID	I Kont PLN (kA)	I Kont Bus DSS (kA)	I Kont Beban PM6 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 1	-	7.63	1.543	9.2	13.497	22.863

40

bus 3 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.142 kA sedangkan kumpulan beban pada PM7 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.631 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 2 ditunjukkan tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 2

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Bus 3 (kA)	I Kont Beban PM7 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 2	6.69	0.142	1.631	9.3	13.893	23.465

Ketika dilakukan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 3 terlihat bahwa arus kontribusi feeder STG 5MW setelah melewati trafo TR66 sebesar 0.856, feeder bus 2 menyumbang arus kontribusi sebesar 8.3 kA, sedangkan beban *auxiliary* menyumbang arus hubung singkat sebesar 0.142. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 3 ditunjukkan tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 3

ID	I Kont STG 5 MW (kA)	I Kont Bus 2 (kA)	I Kont Beban Auxiliary (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 3	0.856	8.3	0.142	9.3	13.893	23.465

Pada bus 4, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 4 terlihat bahwa feeder DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 8.25 kA, sedangkan kumpulan beban pada PM1-5 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.821kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 4 ditunjukkan tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus 4

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Beban PM1-5 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 4	8.25	0.821	9.1	13.356	22.625

Pada bus DSS Main Kontribusi arus hubung singkat berasal dari berbagai macam feeder yakni bus 1, bus 2, bus 4, STG 30 MW serta

feeder High Voltage dan *Low Voltage*. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus DSS Main terlihat bus 1 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.53 kA, bus 2 sebesar 2.55 kA, bus 4 sebesar 0.816 kA, STG 30 MW setelah melalui trafo TRM menyumbang arus kontribusi sebesar 4.0 kA serta arus kontribusi *feeder High Voltage* sebesar 0.652 dan *Low Voltage* sebesar 0.11 kA. Gambar 4.8 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat pada bus DSS Main ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus DSS Main ditunjukkan tabel 4.17.

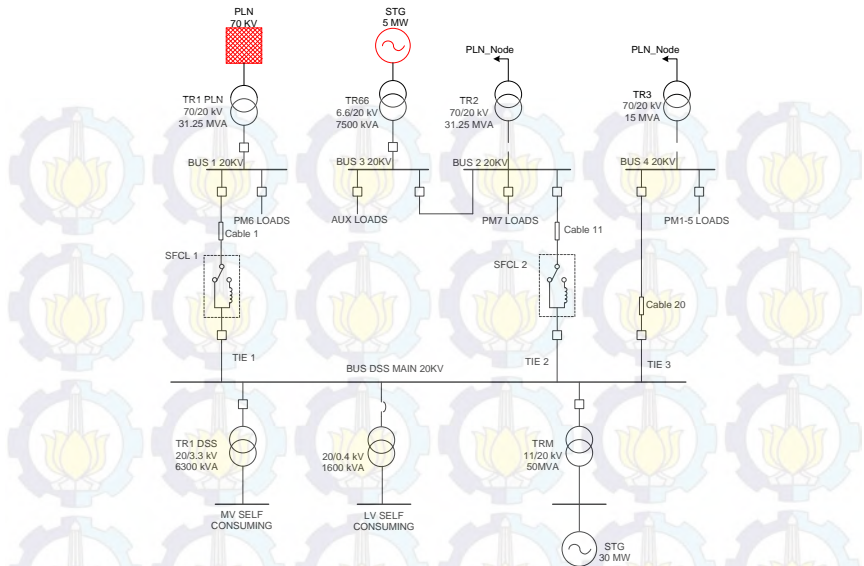
Tabel 4.17 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan STG 30 MW dan STG 5MW Pada Bus DSS Main

ID	I Kont Bus1 (kA)	I Kont Bus2 (kA)	I Kont Bus4 (kA)	I Kont STG 30 MW (kA)	I Kont Beban Low Voltage	I Kont Beban High Voltage	I Symetri Rms (kA)	I Asym Rms (kA)	I Asym Peak (kA)
BUS DSS Main	1.53	2.55	0.816	4	0.11	0.652	9.6	14.88	24.93 2

Berdasarkan data hubung singkat pada pembangkitan STG 30 MW & STG 5 MW terlihat Arus puncak hubung singkat 3 fasa pada masing-masing bus masih aman terhadap *rating* dari batas maksimum bus/switchgear.

4.2.4 Pembangkitan PLN 70kV dan STG 5MW

. Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW terjadi ketika sumber dari STG 30MW sedang tidak bekerja atau ketika terjadi pemadaman. Konfigurasi jaringan pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5 MW dan ditunjukkan pada gambar 4.11. Warna merah pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa PLN 70 kV dan STG 30MW dalam keadaan beroperasi sedangkan STG 30MW dalam keadaan tidak beroperasi.



Gambar 4.11 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW Dan PLN 70 kV

Pada pembangkitan PLN 70kV dan STG 5MW, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 1 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 3.99 kA, feeder PLN setelah melalui trafo TR1 PLN menyumbang arus kontribusi sebesar 9.19. Sedangkan kumpulan beban pada PM6 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.543 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 1 ditunjukkan tabel 4.18.

Tabel 4.18 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 1

ID	I Kont PLN (kA)	I Kont Bus DSS Man (kA)	I Kont Beban PM6 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 1	9.19	3.99	1.543	14.6	22.939	38.344

Pada bus 2, Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 2 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 10.64 kA, bus 3 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.992 kA sedangkan

kumpulan beban pada PM7 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.631 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 2 ditunjukkan tabel 4.19.

Tabel 4.19 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 2

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Bus 3 (kA)	I Kont Beban PM7 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 2	10.64	0.992	1.631	13.2	18.686	31.905

Ketika dilakukan hubung singkat 3fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 3 terlihat bahwa arus kontribusi *feeder* STG 5MW setelah melewati trafo TR66 sebesar 0.856, feeder bus 2 menyumbang arus kontribusi sebesar 12.24 kA, sedangkan beban *auxiliary* menyumbang arus hubung singkat sebesar 0.142. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 3 ditunjukkan tabel 4.20.

Tabel 4.20 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 3

ID	I Kont STG 5 MW (kA)	I Kont Bus 2 (kA)	I Kont Beban Auxiliary (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 3	0.856	12.24	0.142	13.2	18.686	31.905

Pada bus 4, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 4 terlihat bahwa feeder DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 12.1 kA, sedangkan kumpulan beban pada PM1-5 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.821 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 4 ditunjukkan tabel 4.21.

Tabel 4.21 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW Pada Bus 4

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Beban PM1-5 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 4	12.1	0.821	12.9	17.881	30.630

Pada bus DSS Main Kontribusi arus hubung singkat berasal dari berbagai macam feeder yakni bus 1, bus 2, bus 4, STG 30 MW serta

feeder High Voltage dan *Low Voltage*. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus DSS Main terlihat bus 1 menyumbang arus kontribusi sebesar 9.94 kA, bus 2 sebesar 2.55 kA, bus 4 sebesar 0.816 kA, serta arus kontribusi *feeder High Voltage* sebesar 0.652 dan *Low Voltage* sebesar 0.11 kA sedangkan pada *feeder* STG 30 MW tidak menyumbang arus kontribusi karena STG 30 MW dalam keadaan tidak beroperasi. Gambar 4.8 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat pada bus DSS Main ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus DSS Main ditunjukkan tabel 4.22.

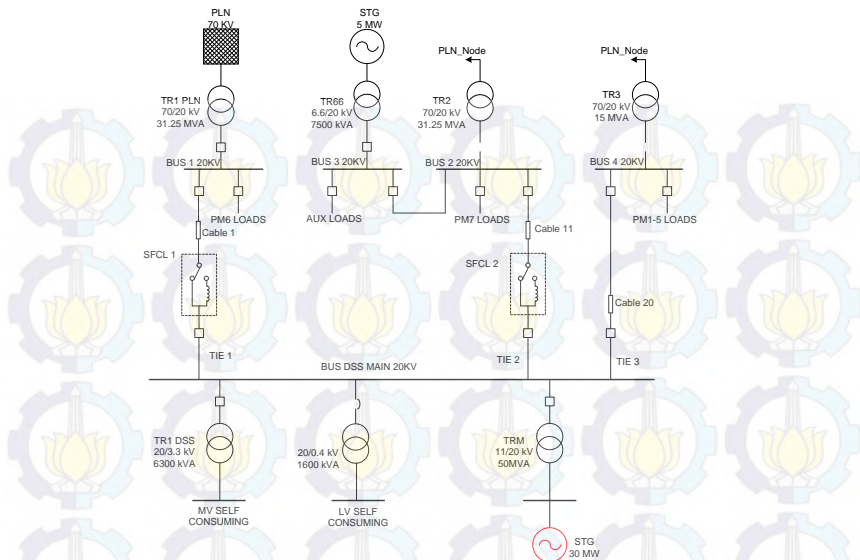
Tabel 4.22 Data arus hubung singkat Tiga Fasa Pembangkitan PLN 70 kV dan STG 5MW pada bus DSS Main

ID	I Kont Bus1 (kA)	I Kont Bu2 (kA)	I Kont Bus4 (kA)	I Kont STG 30 MW (kA)	I Kont Beban Low Voltage	I Kont Beban Medium Voltage	I Sym Rms (kA)	I Asym Rms (kA)	I Asym Peak (kA)
BUS DSS Main	9.94	2.55	0.816	-	0.11	0.652	14.0	20.745	35.118

Berdasarkan data hubung singkat pada pembangkitan PLN 70 kV & STG 5 MW terlihat bahwa arus puncak hubung singkat 3 fasa pada masing-masing bus masih aman terhadap rating dari batas maksimum bus/switchgear.

4.2.5 Pembangkitan Minimum STG 30MW

Sistem kelistrikan ini yang bekerja hanya dari sumber STG 30MW. Sedangkan sumber dari PLN 70 kV dan STG 5MW dalam keadaan tidak beroperasi. Pembangkitan ini disebut pembangkitan minimum Konfigurasi jaringan pada pembangkitan STG 30 ditunjukkan pada gambar 4.12. Warna merah pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa hanya STG 30 MW dalam keadaan beroperasi.



Gambar 4.12 Konfigurasi Jaringan Pada Pembangkitan STG 30 MW

Pada pembangkitan minimum STG 30 MW , ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 1 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 6.89 kA, kumpulan beban pada PM6 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.543kA. sedangkan *feeder* PLN tidak menyumbang arus kontribusi. Hal ini disebabkan karena PLN 70kV dalam keadaan tidak beroperasi. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 1 ditunjukkan tabel 4.23.

Tabel 4.23 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 1

ID	I Kont PLN (kA)	I Kont Bus DSS (kA)	I Kont Beban PM6 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 1	-	6.89	1.543	8.4	12.432	21.049

Pada bus 2, Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 2 terlihat *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 6.69 kA, bus 3 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.142 kA sedangkan kumpulan beban pada PM7 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.631 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 2 ditunjukkan tabel 4.24.

Tabel 4.24 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 2

ID	I Kont Bus DSS Main (kA)	I Kont Bus 3 (kA)	I Kont Beban PM7 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 2	6.69	0.142	1.631	8.4	12.474	21.120

Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 3 terlihat *feeder* STG 5MW tidak menyumbang arus kontribusi sebab pada kondisi pembangkitan ini STG 5 MW tidak beroperasi, *feeder* bus 2 menyumbang arus kontribusi sebesar 8.3 kA, sedangkan beban *auxiliary* menyumbang arus hubung singkat sebesar 0.142. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 3 ditunjukkan tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 3

ID	I kont STG 5 MW (kA)	I Kont Bus 2 (kA)	I Kont Beban Auxiliary (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 3	-	8.3	0.142	8.4	12.474	21.120

Pada bus 4, ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 4 terlihat bahwa *feeder* DSS Main menyumbang arus kontribusi sebesar 7.51 kA, sedangkan kumpulan beban pada PM1-5 menyumbang arus kontribusi sebesar 0.821 kA. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus 4 ditunjukkan tabel 4.26.

Tabel 4.26 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus 4

ID	I Kontribusi Bus DSS Main (kA)	I Kont Beban PM1-5 (kA)	I Symetri Rms (kA)	I Asymetri Rms (kA)	I Asymetri Peak (kA)
BUS 4	7.51	0.821	8.3	21.906	37.404

Pada bus DSS Main Kontribusi arus hubung singkat berasal dari berbagai macam feeder yakni bus 1, bus 2, bus 4, STG 30 MW serta *feeder High Voltage* dan *Low Voltage*. Ketika dilakukan hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada bus DSS Main terlihat bus 1 menyumbang arus kontribusi sebesar 1.53 kA, bus 2 sebesar 1.75 kA, bus 4 sebesar 0.816 kA, STG 30

MW setelah melalui trafo TRM menyumbang arus kontribusi sebesar 4.0 kA serta arus kontribusi *feeder High Voltage* sebesar 0.652 dan dan *Low Voltage* sebesar 0.11 kA. Gambar 4.8 menunjukkan arah dan nilai arus kontribusi hubung singkat pada bus DSS Main ketika pembangkitan maksimum. Data arus hubung singkat 3 fasa pada bus DSS Main ditunjukkan tabel 4.27.

Tabel 4.27 Data Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pembangkitan Minimum STG 30 MW Pada Bus DSS Main

ID	I Kont Bus1 (kA)	I Kont Bus2 (kA)	I Kont Bus4 (kA)	I Kont STG 30 MW (kA)	I Kont Beban Low Voltage	I Kont Beban Medium Voltage	I Sym Rms (kA)	I Asym Rms (kA)	I Asym Peak (kA)
BUS DSS Main	1.53	1.75	0.816	4	0.11	0.652	8.7	26.483	44.446

Berdasarkan data hubung singkat pada minimum 30 MW terlihat bahwa arus puncak hubung singkat 3 fasa pada masing-masing bus masih aman terhadap *rating* dari batas maksimum bus/*switchgear*. Pada pembangkitan minimum 30 MW terlihat bahwa besarnya arus puncak adalah yang paling kecil dibandingkan dengan pembangkitan yang lainnya. Dari kelima pembangkitan yang telah dilakukan data arus hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle *asymetri rms* dan *asymetri peak* dapat dijadikan satu tabel dari masing-masing bus. Tabel 4.28 adalah nilai arus hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle *asymetri rms*, sedangkan tabel 4.29 adalah nilai dari arus hubung singkat *asymetri peak*.

Tabel 4.28 Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ cycle *Asymetri kA rms*

ID	I sc $\frac{1}{2}$ cycle Asymetry rms (kA)				
	Pemb Maximum	STG 30MW & PLN	STG 30MW & 5MW	STG 5MW & PLN	Pemb Minimum
BUS 1	28.703*	27.585*	13.497	22.939	12.432
BUS 2	23.741	22.205	13.893	18.686	12.474
BUS 3	23.741	22.205	13.893	18.686	12.474
BUS 4	22.795	21.906	13.356	17.881	21.906
BUS DSS MAIN	27.805	26.483	14.88	20.745	26.483

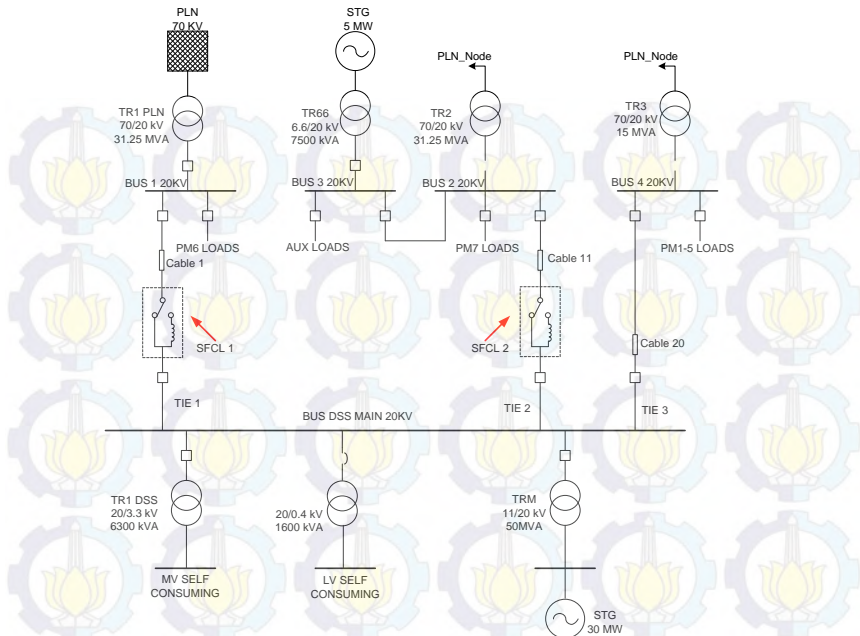
Tabel 4.29 Data Arus Hubung Singkat Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ Cycle Asymetri kA Peak

ID	I sc $\frac{1}{2}$ Asymetry Peak (kA)					Bracing Peak kA (existing)
	Pemb Maximu m	STG 30MW & PLN	STG 30MW & 5MW	STG 5MW & PLN	Pemb Minimu m	
BUS 1	47.980*	46.091*	22.863	38.344	21.049	43.88
BUS 2	40.434	37.914	23.465	31.905	21.120	43.88
BUS 3	40.434	37.914	23.463	31.905	21.120	43.88
BUS 4	38.938	37.404	22.625	30.630	37.404	43.88
BUS DSS MAIN	46.647	44.647	24.932	35.118	44.446	67.5

Nilai *peak asymetry* adalah ± 1.7 kali nilai dari *symetry rms* arus hubung singkat maksimum $\frac{1}{2}$ cycle. Jadi dari tabel diatas yang melebihi dari *bracing peak switchgear* adalah bus 1 ketika pembangkitan maksimum dan ketika pembangkitan STG 30MW dan PLN. Sedangkan untuk bus 2 dan 3 nilai arus hubung singkat *peak asymetri* mendekati *breacing peak switchgear*. Sehingga untuk mengamankan *switchgear* dapat dipasang SFCL pada saluran TIE 1 dan saluran TIE2

4.3 Penerapan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)

Dari simulasi hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle yang telah dilakukan pada masing-masing busbar maka SFCL 1 ditempatkan pada saluran antara bus 1 dan bus DSS Main. Sedangkan SFCL 2 ditempatkan pada saluran antara bus 2 dan bus dss main. Hal ini dilakukan karena kondisi level short circuit mendekati *breacing peak switchgear* atau dalam kondisi *marginal*. Oleh sebab itu penempatan SFCL 2 ini digunakan sebagai antisipasi bila suatu saat ada penambahan beban untuk menunjang sistem produksi PT Pindo Deli. *Single line* diagram pemasangan SFCL pada bus 1 dan bus 2 yang terhubung dengan bus DSS main ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Single Line Diagram Pemasangan SFCL Pada Bus 1 dan Bus 2 Yang Terhubung Dengan Bus DSS Main

4.4 Perhitungan nilai reaktansi Current limiter reactor (CLR)

Pada Tugas Akhir ini CLR terhubung secara parallel dengan *superconductor*. Arus hubung singkat direduksi dengan memanfaatkan nilai reaktansi pada CLR. Besarnya Tegangan dan arus hubung singkat pada OTIE 1 yaitu 20 kV dan 7630 A. Sedangkan arus hubung singkat yang diharapkan mengalir pada TIE 1 yaitu 2500 A. Berikut merupakan perhitungan nilai reaktansi CLR pada SFCL 1.

$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{I_{sc_desire}} - \frac{1}{I_{sc_system}} \right]$$

$$X_R = \frac{20000}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{2500} - \frac{1}{7620} \right]$$

$$X_R = 3.1 \, \Omega$$

Besarnya Tegangan dan arus hubung singkat pada TIE 2 yaitu 20 kV dan 13980A. Sedangkan arus hubung singkat yang diharapkan mengalir pada TIE 2 yaitu 9000 A. Berikut merupakan perhitungan nilai reaktansi CLR pada SFCL 2.

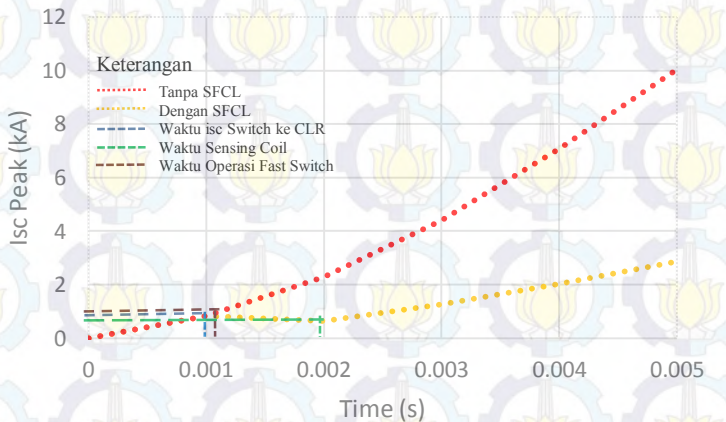
$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{Isc_{desire}} - \frac{1}{Isc_{system}} \right]$$

$$X_R = \frac{20000}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{9000} - \frac{1}{13980} \right]$$

$$X_R = 0.457 \, \Omega$$

4.5 Cara kerja SFCL

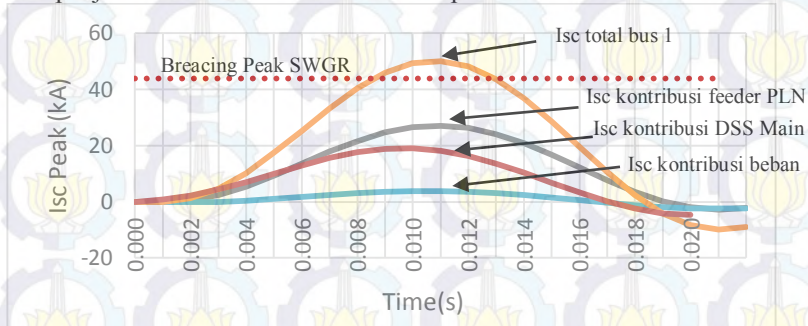
Pada awalnya grafik arus hubung singkat tanpa adanya hubung singkat tanpa adanya SFCL terlihat seperti pada grafik putus-putus berwarna merah. Sedangkan grafik hubung singkat setelah adanya SFCL terlihat pada grafik berwarna kuning. Total waktu berpindahnya arus hubung singkat ke parallel superconductor adalah sebesar 1ms. Kemudian *coil fast switch* mendeteksi adanya hubung singkat sebesar 1.1 ms setelah teradinya hubung singkat. Sedangkan waktu yang dibutuhkan *fast switch* untuk aktif yakni 1.8 ms setelah adanya arus hubung singkat dan seketika itu juga arus hubung singkat direduksi melalui CLR dengan memanfaatkan nilai reaktansi. Grafik proses kerja SFCL ditunjukkan pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Grafik Proses Kerja SFCL

Berdasarkan analisa hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle untuk masing-masing bus pada keadaan maksimum maka terlihat bahwa hanya bus 1 yang melebihi dari *bracing peak switchgear*. Untuk memodelkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pertama pada bus 1 digunakan metode transien IEC 61361. Bentuk gelombang $\frac{1}{2}$ cycle pertama arus hubung singkat pada bus 1 ditunjukkan pada gambar 4.15.

Dari gambar 4.15 menunjukkan bahwa nilai puncak arus hubung singkat melebihi bracing switchgear jika tanpa adanya pembatasan arus hubung singkat. Sedangkan nilai arus hubung singkat total pada bus 1 diperoleh dari penjumlahan seluruh arus kontribusi pada bus 1.



Gambar 4.15 Grafik Arus Hubung Singkat Sebelum Adanya SFCL

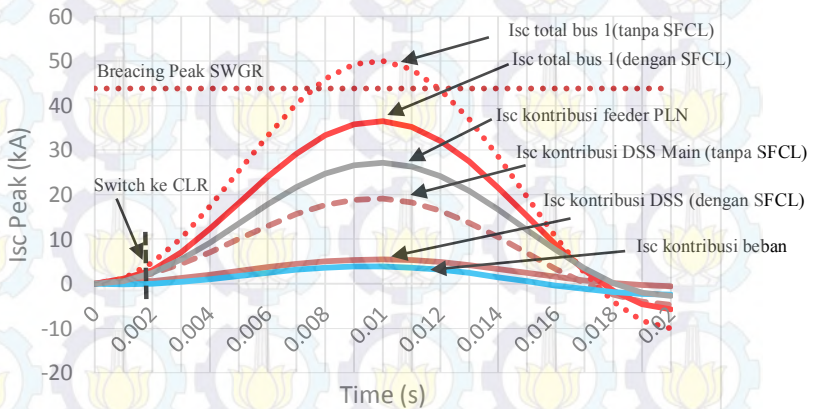
Untuk mengamankan switchgear pada bus 1 maka diperlukan pemasangan SFCL. Dengan adanya pemasangan SFCL arus puncak hubung singkat direduksi hingga dibawah level breacing switchgear. Dengan adanya perhitungan reaktansi CLR pada SFCL 1 sebesar 3.1Ω maka bentuk gelombang hubung singkat setelah pemasangan SFCL pada bus 1 direduksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16. Tabel 4.30 adalah nilai arus hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle asyemtri peak dengan SFCL, sedangkan tabel 4.31 adalah nilai dari arus hubung singkat *asyemtri rms* dengan SFCL

Tabel 4.30 Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ cycle Asyemtri kA Peak dengan SFCL

ID	I sc $\frac{1}{2}$ Asymetry Peak (kA)					Bracing Peak kA (existing)
	Pemb Maximu m	STG 30MW & PLN	STG 30MW & 5MW	STG 5MW & PLN	Pemb Minimu m	
BUS 1	35.311	35.088	10.691	33.391	10.466	43.88
BUS 2	22.192	19.895	19.628	15.946	17.320	43.88
BUS 3	22.192	19.895	19.628	15.946	17.320	43.88
BUS 4	25.423	23.908	21.431	16.344	19.859	43.88
BUS DSS MAIN	28.346	26.463	23.448	17.438	21.566	67.5

Tabel 4.31 Data Arus Hubung Singkat Pada Seluruh Pembangkitan Pada $\frac{1}{2}$ Cycle Asymetri kA rms dengan SFCL

ID	I sc $\frac{1}{2}$ cycle Asymetry rms (kA)				
	Pemb Maximum	STG 30MW & PLN	STG 30MW & 5MW	STG 5MW & PLN	Pemb Minimum
BUS 1	21.228	21.091	6.396	20.035	6.258
BUS 2	13.219	11.835	11.668	9.485	10.275
BUS 3	13.219	11.835	11.668	9.485	10.275
BUS 4	15.063	14.176	12.677	9.688	11.750
BUS DSS MAIN	17.032	15.899	14.025	10.425	12.892



Gambar 4.16 Grafik Arus Hubung Singkat Akibat Adanya SFCL

Berdasarkan hasil analisa hubung singkat yang telah dilakukan pada PT Pindo Deli, arus yang mengalir pada feeder DSS Main sebesar 274.28 A. bus 1 memiliki rating tegangan sebesar 20 KV. Sehingga penulis menggunakan merk Nexans sebagai referensi pembatasan arus hubung singkat. Mempunyai spesifikasi kemampuan dialiri arus hubung singkat sampai 100 kA sym. Respon waktu yang SFCL adalah kurang dari 2ms. Rating Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) dapat dilihat pada tabel 4.32

Tabel 4.32 Rating Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) Merek Nexans

Parameter	Spesification
Level tegangan	2.8-36kV
Frekuensi	50/60hz
Desain SFCL	3 fasa
Arus kontinyu	Sampai 2000 Ampere
Arus hubung singkat	Sampai 100 kA(sym)
Current limiting reactor	Sampai 10 Ω
Temperature operasi	75-77 K
Respon waktu	≤ 2 ms
Kemampuan menahan arus hubung singkat	≤ 200 ms

4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa in dilakukan setting arus dan waktu pada masing-masing rele. Hal ini dilakukan agar waktu operasi rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Pada Tugas Akhir ini koordinasi rele arus lebih dimaksudkan untuk menganalisa setting rele sebelum dan setelah adanya penambahan SFCL di PT Pindo Deli. Pada PT Pindo Deli, generator STG 30 MW merupakan pembangkit utama yang digunakan sebagai pensuplai utama kebutuhan beban sedangkan PLN 70 kV memiliki porsi yang lebih kecil dibandingkan dengan STG 30MW. Oleh karena itu koordinasi rela arus lebih ini harus mempertimbangkan jumlah pembangkitan yang ada.

4.6.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT Pindo Deli

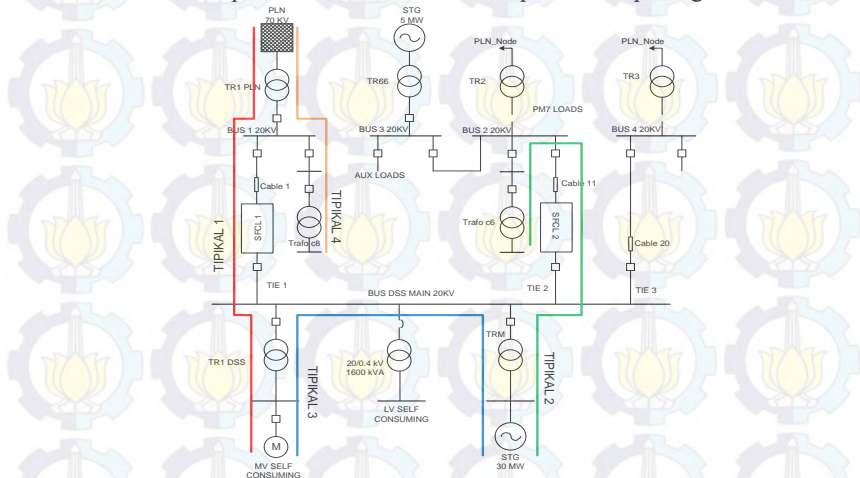
Dalam melakukan setting koordinasi proteksi pada PT Pindo Deli, dipilih beberapa tipikal yang dapat mewakili system kelistrikan PT Pindo Deli. Pemilihan tipikal ini nantinya akan mewakili dan menjadi acuan setting proteksi yang lainnya. Tipikal-tipikal tersebut antara lain:

1. Tipikal 1 adalah koordinasi proteksi dari PLN 70kV hingga beban motor FF1. Tipikal ini terdiri dari beberapa level teganan yaitu 70kV, 20kV, 3.3kV. Pada Tipikal ini terdapat beberapa rele pengamanan yaitu rele motor FF1, rele 5G, rele 1G, rele OTIE 1, rele GCB-1.
2. Tipikal 2 adalah koordinasi proteksi dari trafo C6 hingga generator STG 30MW. Tipikal ini terdiri dari beberapa level teganan yaitu 20kV, 11kV, 0.4kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengamanan yaitu rele SGCB21, Rele MGCB22, rele 4, rele 10G, rele CB11G.
3. Tipikal 3 adalah koordinasi proteksi dari generator STG 30MW hingga beban motor FF1. Tipikal ini terdiri dari beberapa level

tegangan yaitu 20kV, 11kV, 3.3kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu rele motor FF1, rele 5G, rele CB11G.

4. Tipikal 4 adalah koordinasi proteksi dari PLN 70kV hingga trafo sc8. Tipikal ini terdiri beberapa level tegangan yaitu 70kV, 20kV, 0.4kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu rele SGCB11, rele MGCB11, rele GCB-1.

Bentuk detail tipikal koordinasi 1 s/d 4 dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17. Single line diagram tipikal 1 sampai 4

4.6.2 Analisa Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat di setiap bus. Terdapat 2 macam analisa hubung singkat yang digunakan yaitu analisa hubung singkat maksimum dan analisa hubung singkat minimum. Nantinya kedua analisa hubung singkat ini digunakan untuk menentukan setting rele arus lebih.

4.6.2.1 Hubung Singkat Minimum

Pada system kelistrikan PT Pindo Deli, pebangkitan minimum yaitu ketika STG 30MW dalam keadaan aktif . Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat 2 fasa ketika kondisi 30 cycle. Hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan setting pickup kurva waktu instan. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat pada gangguan minimum, maka rele tersebut dapat bekerja dengan instan sesuai dengan setting time delay yang ditentukan. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat pembangkitan minimum ditunjukkan pada tabel 4.33.

Tabel 4.33 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle

ID Bus	Isc min 30 Cycle (kA)	
	Pemb. Min tanpa SFCL	Pemb. Min dengan SFCL
Bus 1	2.9	1.56
Bus 2	2.9	2.56
Bus 3	2.9	2.56
Bus 4	2.9	2.9
Bus DSS	2.96	2.96
HV S CONS	7.17	7.17
sC6	36.18	34.91
Main F PM 7.1	2.9	2.56

4.6.2.2 Hubung Singkat Maksimum

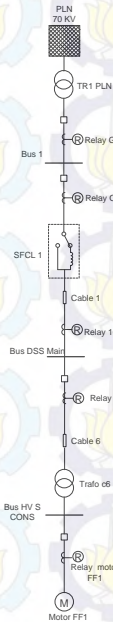
Pembangkitan maksimum PT Pindo deli yaitu ketika seluruh pembangkit dalam keadaan aktif. Arus hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Pembangkit yang aktif pada kondisi pembangkitan maksimum meliputi STG 30 MW, PLN 70kV, STG 5MW. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat pembangkitan maksimum ditunjukkan pada tabel 4.34.

Tabel 4.34 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle

ID Bus	Iscmax 4 Cycle (kA)	
	Pemb. Max tanpa SFCL	Pemb. Max dengan SFCL
Bus 1	15.87	12.81
Bus 2	14.34	7.16
Bus 3	14.34	7.16
Bus 4	14.1	8.51
Bus DSS	15.53	8.99
HV S CONS	14.77	13.68
sC6	57.39	53.29
Main F PM 7.1	14.34	7.16

4.6.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih tipikal 1 merupakan jalur tipikal dari PLN 70kV sampai ke motor FF1 . Tipikal 1 terdiri dari rele motor FF1, rele 5G, rele 1G, rele OTIE 1, Rele GCB-1. gambar rangkaian tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Rangkaian Tipikal 1

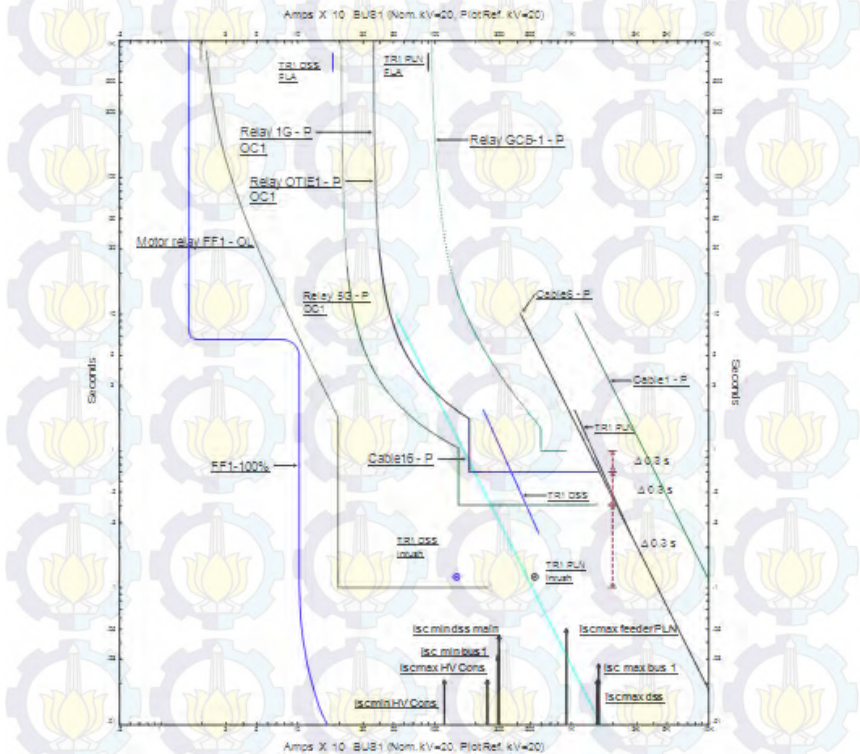
Data awal koordinasi rele arus lebih tipikal 1 ditunjukkan pada tabel 4.35. Sedangkan hasil plot kurva time curve (TCC) tipikal 1 ditunjukkan oleh gambar 4.19

Tabel 4.35. Data Setting rele Awal Pada Tipikal 1

Relay ID	CT ratio	Setting	
Rele Motor FF1	300/5	Pickup Lowset	120A
		Time dial	-
		Picup Higset	1200A
		Time delay	0.1s
Rele 5G	300/5	Pickup Lowset	210A
		Time dial	0.3
		Pickup Higset	1500A
		Time delay	0.4s

Tabel 4.35 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 1 (Lanjutan)

Rele 1G	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	360A
		<i>Time dial</i>	0.4
		<i>Pickup Higset</i>	1800A
		<i>Time delay</i>	0.7s
Rele OTIE	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	360A
		<i>Time dial</i>	0.39
		<i>Pickup Higset</i>	1800A
		<i>Time delay</i>	0.7s
Rele GCB-1	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	960A
		<i>Time dial</i>	0.58
		<i>Pickup Higset</i>	7200A
		<i>Time delay</i>	1s



Gambar 4.19 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 1

Dari hasil plot kurva time current curve (TCC) tipikal 1 pada kondisi awal Serta analisa hubung singkat 4 cycle maupun 30 cycle terlihat bahwa terjadi perubahan nilai arus hubung singkat maksimum dan nilai arus hubung singkat minimum. Dimana pada bus 1, arus hubung singkat maksimum 4 cycle pada tabel 4.31 ketika kondisi awal sebesar 15.87 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL, nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle berubah menjadi 12.07 kA. Untuk arus hubung singkat minimum 30 cycle pada kondisi awal sebesar 2.9 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL. Nilai arus hubung singkat minimum 30 cycle pada tabel 4.30 sebesar 1.51 kA. Dari hasil analisa diatas perlu adanya perhitungan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL. Berikut ini merupakan perhitungan parameter-parameter yang digunakan dalam koordinasi rele arus lebih gangguan fasa pada tipikal 1.

Rele Motor FF1

Manufacture : Ge Multilin
 Model : 169
 FLA motor FF1 : 98.1 A
 nCT : 150/5
 Curve Type : Curve 2
 Isc min bus HV S.Cons : 7170A
 Isc min bus HV S.Cons : 13680A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$1.05 \times \text{FLA motor FF1} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA motor FF1}$

$1.05 \times 98.1 < \text{Iset} < 1.4 \times 98.1$

$103.005 < \text{Iset} < 137.34$

$\frac{103.005}{150/5} < \text{tap} < \frac{137.34}{150/5}$

$3.4335 < \text{tap} < 4.578$

Dipilih tap = 4

$\text{Iset} = 4 \times \frac{150}{5} = 120A$

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$\text{LRC} \times \text{FLA motor FF1} < \text{Iset} < 0.8 \text{ isc min bus HV S Cons}$

$6.5 \times 98.1 < \text{Iset} < 0.8 \times 7170$

$637.65 < \text{Iset} < 5736$

$$\frac{637.65}{150/5} < \text{tap} < \frac{5736}{150/5}$$

$$21.255 < \text{tap} < 1912$$

Dipilih tap = 22

$$I_{set} = 4 \times \frac{150}{5} = 1200A$$

Dipilih t = 0.1

Rele 5G

Manufacture : Alstom

Model : P120

FLA TR1 DSS : 181.9 A

nCT : 300/5

Curve Type : IEC Standard Invers

Iscmin bus DSS Main : 2960 A

Isc min bus HV S.Cons : 7170A

Isc max bus HV S Cons : 13470A

Isc max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA TR1 DSS} < I_{set} < 1.4 \text{ FLA TR1 DSS}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA TR1 DSS}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA TR1 DSS}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 181.9}{300} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 181.9}{300} I_n$$

$$0.636 I_n < I_{set} < 0.849 I_n$$

Dipilih tap = 0.7 I_n

$$I_{set} = 0.7 \times 300 = 210A$$

Time dial

Waktu operasi: 0.1

$$t = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$0.1 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{8990}{210} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0.056$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.06

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$I_{sc \text{ max HV Cons}} \times \left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right) < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min bus DSS Main}}$$

$$\frac{I_{sc \text{ max HV Cons}} \times \left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right)}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min bus DSS Main}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{13640 \times \left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right)}{300} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2960}{300} I_n$$

$$7.502 I_n < I_{set} < 7.89 I_n$$

Dipilih tap = 7.6 I_n

$$I_{set} = 7.6 \times 300 = 2280 \text{ A}$$

Dipilih t=0.1

Rele 1G

Manufacture : Alstom

Model : P127

FLA TR1 DSS : 274.28 A

nCT : 600/5

Curve Type : IEC Standart Inverse

I_{sc}min bus DSS Main : 2960 A

I_{sc} max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times FLA < I_{set} < 1.4 \times FLA$$

$$\frac{1.05 \times FLA}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times FLA}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 274.28}{600} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 274.28}{600} I_n$$

$$0.479 I_n < I_{set} < 0.64 I_n$$

Dipilih tap = 0.6 I_n

$$I_{set} = 0.6 \times 600 = 360 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0.4

$$t = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$0.4 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{8990}{360} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0.189$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.19

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times FLA < I_{set} < 0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}$$

$$\frac{1.6 \times FLA}{CT_{primer}} In < tap < \frac{0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}}{CT_{primer}} In$$

$$\frac{1.6 \times 274.28}{600} In < tap < \frac{0.8 \times 2960}{600} In$$

$$0.73 In < I_{set} < 3.94 In$$

Dipilih tap = 2 In

$$I_{set} = 2 \times 600 = 1200 A$$

Dipilih t=0.4

Rele OTIE1

Manufacture : Alstom

Model : P127

FLA TR1 DSS : 274.28 A

nCT : 600/5

Curve Type : IEC Standart Inverse

Iscmin bus 1 : 1560 A

Isc max bus 1 : 12180 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times FLA < I_{set} < 1.4 FLA$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{CT_{\text{primer}}} In < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA}}{CT_{\text{primer}}} In$$

$$\frac{1.05 \times 274.28}{600} In < \text{tap} < \frac{1.4 \times 274.28}{600} In$$

$$0.48In < I_{\text{set}} < 0.64In$$

Dipilih tap = 0.6In

$$I_{\text{set}} = 0.6 \times 600 = 360A$$

Time Dial

Waktu operasi: 0.4

$$t = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$0.4 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{12180}{360} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0.208$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.21

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \times I_{\text{scmin bus 1}}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA}}{CT_{\text{primer}}} In < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{\text{scmin bus 1}}}{CT_{\text{primer}}} In$$

$$\frac{1.6 \times 274.28}{600} In < \text{tap} < \frac{0.8 \times 1560}{600} In$$

$$0.73In < I_{\text{set}} < 2.05 In$$

Dipilih tap = 2In

$$I_{\text{set}} = 2 \times 600 = 1200A$$

Dipilih t=0.4

Rele GCB-1

Manufacture : ABB

Model : P127

FLA TR1 DSS : 902.1 A

nCT : 1200/5
 Curve Type : IEC Very Inverse
 Iscmin feeder PLN : 7960 A
 Isc max feeder PLN : 9190A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$\begin{aligned}
 1.05 \times \text{FLA TR1 PLN} &< I_{set} < 1.4 \text{ FLA TR1 PLN} \\
 \frac{1.05 \times \text{FLA TR1 PLN}}{CT_{primer}} I_n &< \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA TR1 PLN}}{CT_{primer}} I_n \\
 \frac{1.05 \times 902.1}{1200} I_n &< \text{tap} < \frac{1.4 \times 902.1}{1200} I_n
 \end{aligned}$$

$$0.79 I_n < I_{set} < 1.05 I_n$$

Dipilih tap = $0.8 I_n$

$$I_{set} = 0.8 \times 1200 = 960 \text{ A}$$

Time Dial

Waktu operasi: 0.9

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.9 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{9190}{960} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.57$$

Range (0.05 sampai 1, dengan step 0.01)

Dipilih TD = 0.58

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA TR1 PLN} < I_{set} < 0.8 \times \text{Iscmin bus DSS Main}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA TRM}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times \text{Iscmin bus DSS Main}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 902.1}{1200} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 9190}{1200} I_n$$

$$1.203 I_n < I_{set} < 6.12 I_n$$

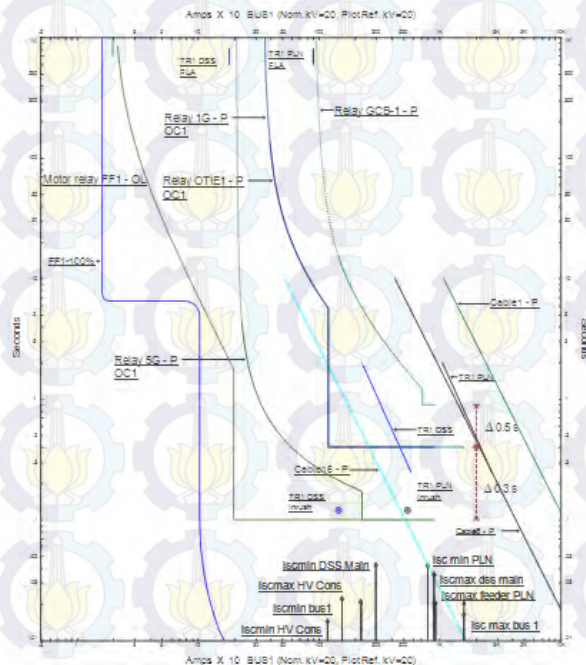
Dipilih tap = $6 I_n$

$$I_{set} = 6 \times 1200 = 7200 \text{ A}$$

Dipilih t = 0.9

Dari hasil perhitungan parameter-parameter koordinasi rele arus lebih gangguan fada pada tipikal 1 diperoleh plot kurva Time Current Curve (TCC) seperti ditunjukkan pada gambar 4.20. Pada plot kurva TCC tipikal 1 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai time dial. Pada kondisi awal nilai time dial pada rele OTIE sebesar 0.39 Sedangkan setelah dilakukan penempatan SFCL nilai time dial sebesar 0.21. dengan adanya penempatan SFCL pada bus 1 maka akan menyebabkan perubahan kemiringan dari time dial.

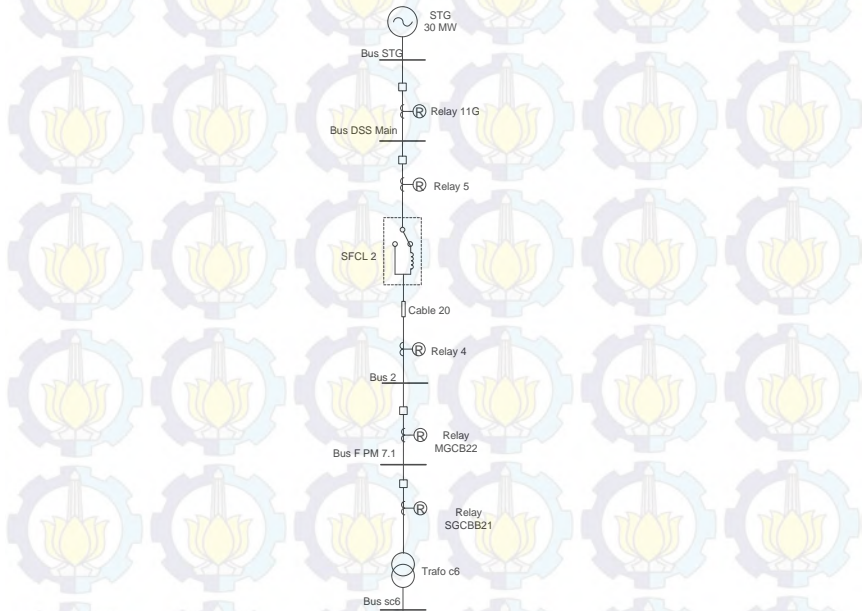
Sedangkan untuk grafik instantaneous akan terjadi pergeseran range pickup highset. Hal ini dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum maupun minimum setelah adanya pemasangan SFCL semakin berkurang. Pada kondisi awal nilai pickup highset pada rele OTIE sebesar 1800 A, sedangkan setelah adanya penambahan SFCL nilai pickup high set sebesar 1200 A. Oleh sebab itu nilai pickup high set kurva instantaneous mengalami pergeseran ke kiri.



Gambar 4.20 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

4.6.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih tipikal 2 merupakan jalur tipikal dari STG 30MW sampai ke beban motor FF1. Tipikal 2 terdiri dari rele motor FF1, rele 5G dan rele 11G. Gambar rangkaian tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.21



Gambar 4.21. Rangkaian Tipikal 2

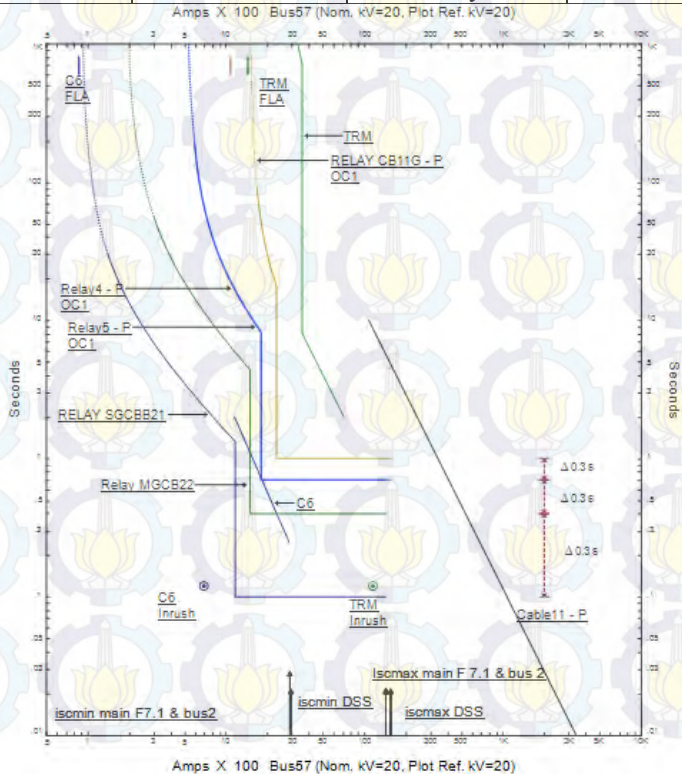
Data awal koordinasi rele arus lebih tipikal 2 ditunjukkan pada tabel 4.36. Sedangkan hasil plot kurva time curve (TCC) tipikal 2 ditunjukkan oleh gambar 4.22

Tabel 4.36 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 2

Relay ID	CT ratio	Setting	
Rele SGCB21	300/5	Pickup Lowset	93A
		Time dial	11.34
		Picup Higset	1170A
		Time delay	0.1s
Rele MGCB22	300/5	Pickup Lowset	200A
		Time dial	20.94
		Pickup Higset	1250A
		Time delay	0.4s

Tabel 4.36 Data Setting Rele Awal Pada Tipikal 2 (lanjutan)

Relay ID	CT ratio	Setting	
Rele 4	600/5	Pickup Lowset	540A
		Time dial	1.44
		Pickup Higset	1800A
		Time delay	0.7s
Rele 5	600/5	Pickup Lowset	540A
		Time dial	1.44
		Pickup Higset	1800A
		Time delay	0.7s
Rele 11G	1600/5	Pickup Lowset	1520A
		Time dial	0.69
		Pickup Higset	2320A
		Time delay	1s



Gambar 4.22 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 2

Dari hasil plot kurva time current curve (TCC) tipikal 2 pada kondisi awal serta analisa hubung singkat 4 cycle maupun 30 cycle terlihat bahwa terjadi perubahan nilai arus hubung singkat maksimum dan nilai arus hubung singkat minimum. Pada tabel 4.31 terlihat bahwa nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 2 ketika kondisi awal sebesar 13.34 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL, nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle berubah menjadi 7.07 kA. Untuk arus hubung singkat minimum 30 cycle pada kondisi awal sebesar 2.9 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL, nilai arus hubung singkat minimum 30 cycle sebesar 1.51 kA. Dari hasil analisa diatas perlu adanya perhitungan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL. Berikut ini merupakan perhitungan parameter-parameter yang digunakan dalam koordinasi rele arus lebih gangguan fasa pada tipikal 2.

Rele SGCBB-21

Manufacture : Mitsubishi
 Model : COC2
 FLA TR1 DSS : 86.6A
 nCT : 150/5
 Curve Type : Very Inverse
 Iscmin bus Main F PM 7.1: 2560 A
 Isc max bus Main F PM 7.1: 7160 A
 Isc max bus sC6: 53290 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA Trafo C6} < \text{Iset} < 1.4 \text{ FLA Trafo C6}$$

$$1.05 \times 86.6 < \text{Iset} < 1.4 \times 86.6$$

$$90.93 < \text{Iset} < 121.24$$

$$\frac{90.93}{150/5} \ln < \text{tap} < \frac{1.4 \times 86.6}{150/5} \ln$$

$$3.031 < \text{tap} < 4.04$$

$$\text{Dipilih tap} = 3.1$$

$$\text{Iset} = 3.1 \times \frac{150}{5} = 93\text{A}$$

Time Dial

Waktu operasi: 0.1

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$0.1 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{7160}{93} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$TD = 5.62$$

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$I_{sc \text{ max bus sC6}} \times \left(\frac{0.4V}{20kV} \right) < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \text{ min bus main F PM71}}$$

$$53290 \times \left(\frac{0.4V}{20kV} \right) < I_{set} < 0.8 \times 2560$$

$$1065.8 < I_{set} < 2048$$

$$\frac{1064}{150/5} < \text{tap} < \frac{2048}{150/5}$$

$$35.47 < I_{set} < 68.27$$

Dipilih tap = 36

$$I_{set} = 36 \times \frac{150}{5} = 1080A$$

Dipilih t=0.1

Rele MGCB-22

Manufacture : Mitshubishi

Model : COC2

FLA Trafo C6 : 173.2 A

nCT : 250/5

Curve Type : Very Inverse

Iscmin bus 2 : 2560 A

Isc max bus 2 : 7160 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times FLA < I_{set} < 1.4 \times FLA$$

$$1.05 \times 173.2 < I_{set} < 1.4 \times 173.2$$

$$181.86 < I_{set} < 242.48$$

$$\frac{181.86}{250/5} < \text{tap} < \frac{242.48}{250/5}$$

$$3.64 < \text{tap} < 4.85$$

Dipilih tap = 4

$$I_{set} = 4 \times \frac{250}{5} = 200A$$

Time Dial

Waktu operasi: 0.4

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$0.4 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{7160}{200} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$TD = 10.31$$

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA} < I_{set} < 0.8 \times I_{scmin \text{ bus 2}}$$

$$1.6 \times 173.2 < I_{set} < 0.8 \times 2560$$

$$277.12 < I_{set} < 2048$$

$$\frac{277.12}{250/5} < \text{tap} < \frac{2048}{250/5}$$

$$5.54 < I_{set} < 40.96$$

Dipilih tap = 20

$$I_{set} = 20 \times \frac{250}{5} = 1000A$$

Dipilih t=0.4

Relay 4

Manufacture : Alstom

Model : P127

FLA TR1 DSS : 492.8 A

nCT : 600/5

Curve Type : IEC Very Inverse

Iscmin bus 2 : 2560 A

Isc max bus 2 : 7160 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1.4 \text{ FLA}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 492.8}{600} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 492.8}{600} I_n$$

$$0.862 I_n < I_{\text{set}} < 1.15 I_n$$

Dipilih tap = 0.9 I_n

$$I_{\text{set}} = 0.9 \times 600 = 540 \text{ A}$$

Time Dial

Waktu operasi: 0.7

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.7 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{7160}{540} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.635$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.9

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0.8 \times I_{\text{scmin bus DSS Main}}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA}}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{\text{scmin bus DSS Main}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 492.8}{600} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2560}{600} I_n$$

$$1.31 < I_{\text{set}} < 3.41 I_n$$

Dipilih tap = 2.5 I_n

$$I_{\text{set}} = 2.5 \times 600 = 1500 \text{ A}$$

Dipilih t=0.7

Relay 5

Manufacture : Alstom

Model : P127

FLA TR1 DSS : 492.8 A

nCT : 600/5

Curve Type : IEC Very Inverse

Iscmin bus DSS Main : 2960 A

Isc max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1.4 \text{ FLA}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 492.8}{600} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 492.8}{600} I_n$$

$$0.862 I_n < I_{set} < 1.15 I_n$$

Dipilih tap = 0.9 I_n

$$I_{set} = 0.9 \times 600 = 540 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0.7

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.7 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{8990}{540} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.811$$

Range (0.05 sampai 1, dengan step 0.01)

Dipilih TD = 0.9

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA} < I_{set} < 0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 492.8}{600} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2960}{600} I_n$$

$$1.31 < I_{set} < 3.95 I_n$$

Dipilih tap = 2.5 I_n

$$I_{set} = 2.5 \times 600 = 1500 \text{ A}$$

Dipilih t = 0.7

Rele 11G

Manufacture : Alstom
Model : P127
FLA TR1 DSS : 1443 A
nCT : 1600/5
Curve Type : IEC Very Inverse

Iscmin bus DSS Main : 2960 A
Isc max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA TRM} < \text{Iset} < 1.4 \text{ FLA TRM}$$

$$\frac{1.05 \times \text{FLA TRM}}{CT_{\text{primer}}} \ln < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA TRM}}{CT_{\text{primer}}} \ln$$

$$\frac{1.05 \times 1443}{1600} \ln < \text{tap} < \frac{1.4 \times 1443}{1600} \ln$$

$$0.947 \ln < \text{Iset} < 1.26 \ln$$

Dipilih tap = 0.95ln

$$\text{Iset} = 0.95 \times 1600 = 1520 \text{ A}$$

Time Dial

Waktu operasi: 1

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.9 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{8990}{1520} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.32$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.33

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA TRM} < \text{Iset} < 0.8 \times \text{Iscmin bus DSS Main}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA TRM}}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} = < \frac{0.8 \times I_{\text{scmin bus DSS Main}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 1443}{1600} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2960}{1600} I_n$$

$$1.443 I_n < I_{\text{set}} < 1.48 I_n$$

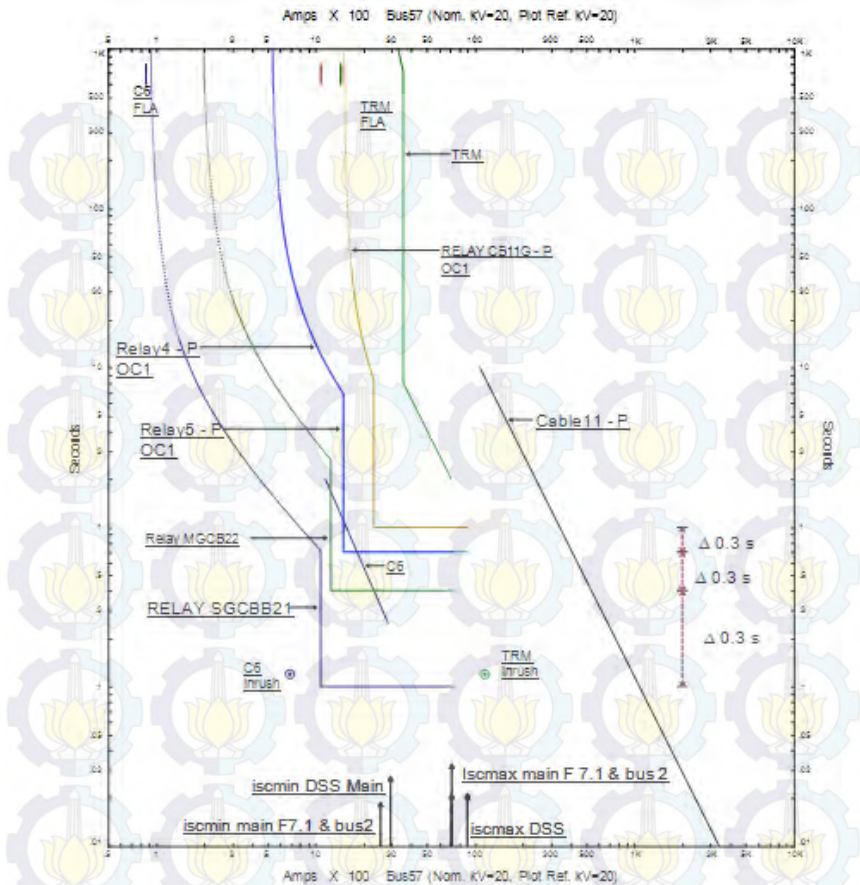
Dipilih tap = 1.45 I_n

$$I_{\text{set}} = 1.45 \times 300 = 2320 \text{ A}$$

Dipilih t=1

Dari hasil perhitungan parameter-parameter koordinasi rele arus lebih gangguan pada bus 2 diperoleh plot kurva Time Current Curve (TCC) seperti ditunjukkan pada gambar 4.23. Pada plot kurva TCC tipikal 2 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai time dial. Pada kondisi awal nilai time dial pada rele MGCB22 sebesar 20.94 Sedangkan setelah dilakukan penempatan SFCL nilai time dial sebesar 10.31. dengan adanya penempatan SFCL pada bus 2 maka akan menyebabkan perubahan kemiringan dari time dial.

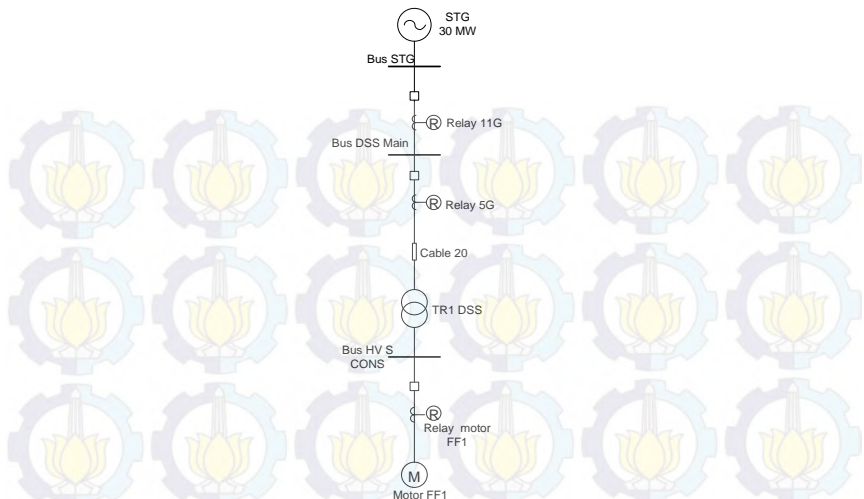
Sedangkan untuk grafik instantaneous akan terjadi pergeseran range pickup highset. Hal ini dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum maupun minimum setelah adanya pemasangan SFCL semakin berkurang. Pada kondisi awal nilai pickup highset pada rele MGCB22 sebesar 1250 A, sedangkan setelah adanya penambahan SFCL nilai pickup high set sebesar 1000 A. Oleh sebab itu nilai pickup high set kurva instantaneus mengalami pergeseran ke kiri.



Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

4.6.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele arus lebih tipikal 3 merupakan jalur tipikal dari STG 30MW sampai ke beban motor FF1. Tipikal 3 terdiri dari rele motor FF1, rele 5G, rele 4, rele 11G gambar rangkaian tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.24.



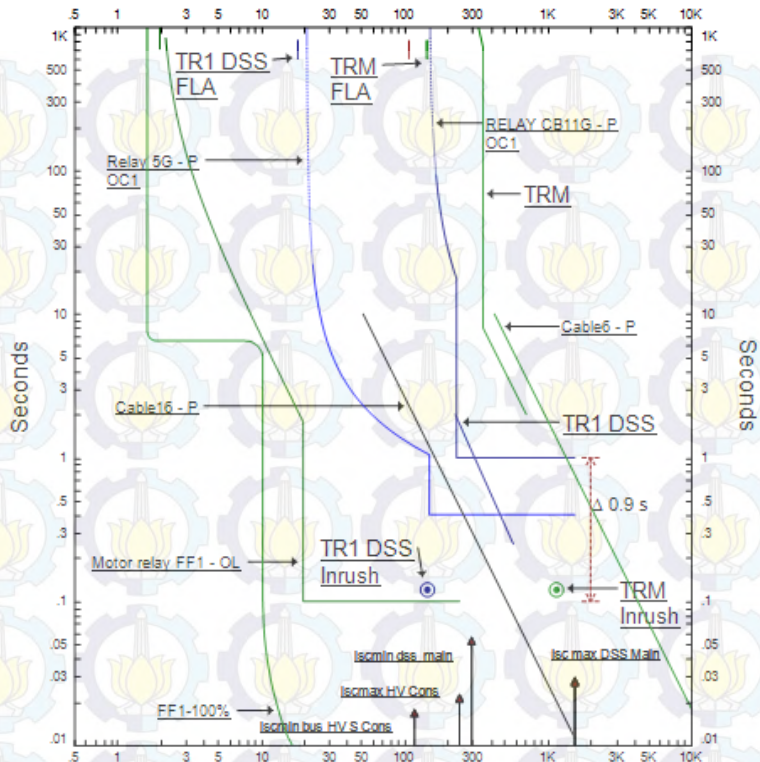
Gambar 4.24 Rangkaian Tipikal 3

Data awal koordinasi rele arus lebih tipikal 3 ditunjukkan pada tabel 4.37. sedangkan hasil plot kurva time curve (TCC) tipikal 3 ditunjukkan oleh gambar 4.25

Tabel 4.37 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 3

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
Rele Motor FF1	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	120A
		<i>Time dial</i>	-
		<i>Picup Higset</i>	1200A
		<i>Time delay</i>	0.1s
Rele 5G	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	210A
		<i>Time dial</i>	0.3
		<i>Pickup Higset</i>	1500A
		<i>Time delay</i>	0.4s
Rele 11G	1600/5	<i>Pickup Lowset</i>	1520A
		<i>Time dial</i>	0.69
		<i>Pickup Higset</i>	2320A
		<i>Time delay</i>	1s

Amps X 10 DSS MAIN (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)



Amps X 10 DSS MAIN (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)

Gambar 4.25 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 3

Dari hasil plot kurva time current curve (TCC) tipikal 3 pada kondisi awal serta analisa hubung singkat 4 cycle maupun 30 cycle terlihat bahwa hanya terjadi perubahan nilai arus hubung singkat maksimum. Sedangkan nilai nilai arus hubung singkat minimum tetap. Hal ini di karenakan arus kontribusi dari STG 30 MW ketika pembangkitan minimum tidak melewati SFCL sehingga nilai arus hubung singkat pembangkitan minimum tetap. Nilai arus hubung singkat maksimum 4 cyle pada bus DSS Main ketika kondisi awal sebesar 15.53 kA sedangkan sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL, nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle berubah menjadi 8.83 kA. Dari hasil analisa diatas perlu adanya perhitungan koordinasi rele arus lebih

gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL. Berikut ini merupakan perhitungan parameter-parameter yang digunakan dalam koordinasi rele arus lebih gangguan fasa pada tipikal 3.

Rele Motor FF1

Manufacture : Ge Multilin
 Model : 169
 FLA motor FF1 : 98.1 A
 nCT : 150/5
 Curve Type : Curve 2
 Isc min bus HV S.Cons : 7170A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times \text{FLA motor FF1} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA motor FF1}$$

$$1.05 \times 98.1 < \text{Iset} < 1.4 \times 98.1$$

$$103.005 < \text{Iset} < 137.34$$

$$\frac{103.005}{150/5} < \text{tap} < \frac{137.34}{150/5}$$

$$3.4335 < \text{tap} < 4.578$$

Dipilih tap = 4

$$\text{Iset} = 4 \times \frac{150}{5} = 120\text{A}$$

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$\text{LRC} \times \text{FLA motor FF1} < \text{Iset} < 0.8 \text{ isc min bus HV S Cons}$$

$$6.5 \times 98.1 < \text{Iset} < 0.8 \times 7170$$

$$637.65 < \text{Iset} < 5736$$

$$\frac{637.65}{150/5} < \text{tap} < \frac{5736}{150/5}$$

$$21.255 < \text{tap} < 1912$$

Dipilih tap = 22

$$\text{Iset} = 22 \times \frac{150}{5} = 1200\text{A}$$

Dipilih t = 0.1

Rele 5G

Manufacture : Alstom
 Model : P120
 FLA TR1 DSS : 181.9 A

nCT : 300/5
 Curve Type : IEC Standard Invers
 Iscmin bus DSS Main : 2960 A
 Isc min bus HV S.Cons : 7170A
 Isc max bus HV S Cons : 13470A
 Isc max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1.05 x FLA TR1 DSS < Iset < 1.4 FLA TR1 DSS

$$\frac{1.05 \times \text{FLA TR1 DSS}}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times \text{FLA TR1 DSS}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 181.9}{300} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 181.9}{300} I_n$$

0.636 I_n < Iset < 0.849 I_n

Dipilih tap = 0.7 I_n

$$I_{\text{set}} = 0.7 \times 300 = 210 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0.1

$$t = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$0.1 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{8990}{210} \right)^{0.02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0.056$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.06

Instantaneous Current Pickup (High Set)

Isc max HV Cons x $\left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right) < \text{iset} < 0.8 \times \text{Iscmin bus DSS Main}$

$$\frac{\text{Isc max HV Cons} \times \left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right)}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times \text{Iscmin bus DSS Main}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{13640 \times \left(\frac{3.3 \text{ kv}}{20 \text{ kv}} \right)}{300} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2960}{300} I_n$$

$$7.502I_n < I_{set} < 7.89I_n$$

Dipilih tap = 7.6I_n

$$I_{set} = 7.6 \times 300 = 2280A$$

Dipilih t=0.1

Rele 11G

Manufacture : Alstom

Model : P127

FLA TR1 DSS : 1443 A

nCT : 1600/5

Curve Type : IEC Very Inverse

Iscmin bus DSS Main : 2960 A

Isc max bus DSS main : 8990 A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1.05 \times FLA_{TRM} < I_{set} < 1.4 FLA_{TRM}$$

$$\frac{1.05 \times FLA_{TRM}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 FLA_{TRM}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 1443}{1600} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 1443}{1600} I_n$$

$$0.947I_n < I_{set} < 1.26I_n$$

Dipilih tap = 0.95I_n

$$I_{set} = 0.95 \times 1600 = 1520A$$

Time Dial

Waktu operasi: 1

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.9 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{8990}{1520} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.32$$

Range (0.03 sampai 1.5, dengan step 0.025)

Dipilih TD = 0.33

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1.6 \times \text{FLA TRM} < I_{\text{set}} < 0.8 \times I_{\text{scmin bus DSS Main}}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA TRM}}{CT_{\text{primer}}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{\text{scmin bus DSS Main}}}{CT_{\text{primer}}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 1443}{1600} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 2960}{1600} I_n$$

$$1.443 I_n < I_{\text{set}} < 1.48 I_n$$

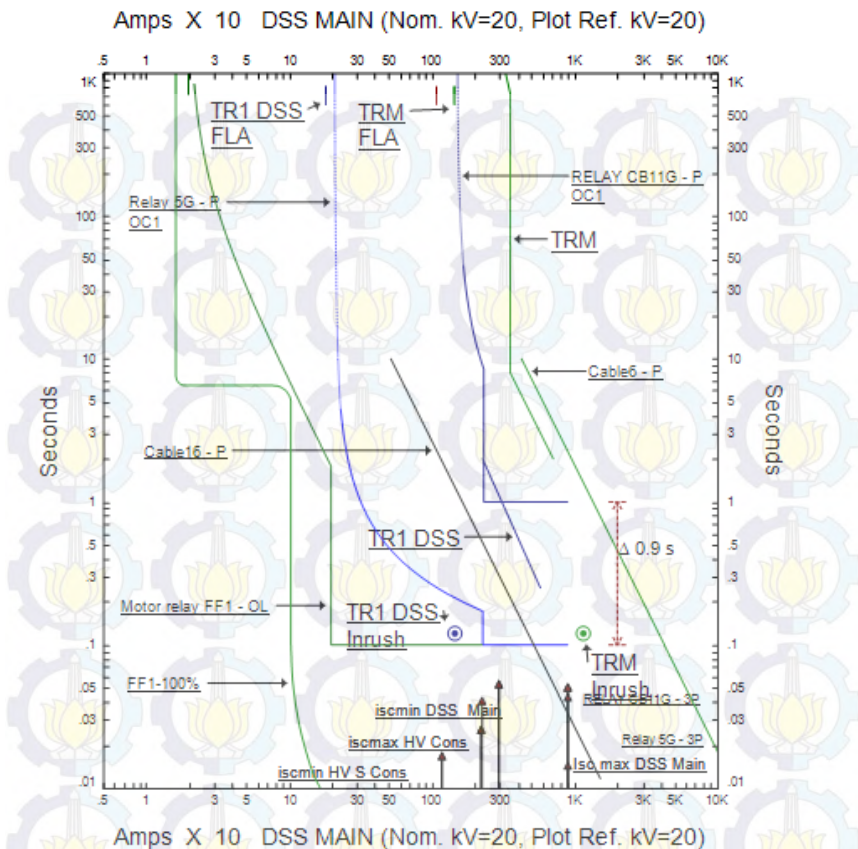
Dipilih tap = 1.45 I_n

$$I_{\text{set}} = 1.45 \times 300 = 2320 \text{ A}$$

Dipilih t=1

Dari hasil perhitungan parameter-parameter koordinasi rele arus lebih gangguan pada bus 3 diperoleh plot kurva Time Current Curve (TCC) seperti ditunjukkan pada gambar 4.26. Pada plot kurva TCC tipikal 3 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai time dial. Pada kondisi awal nilai time dial pada rele 5 sebesar 0.06. dengan adanya penempatan SFCL pada bus 1 dan 2 maka akan menyebabkan perubahan kemiringan dari time dial.

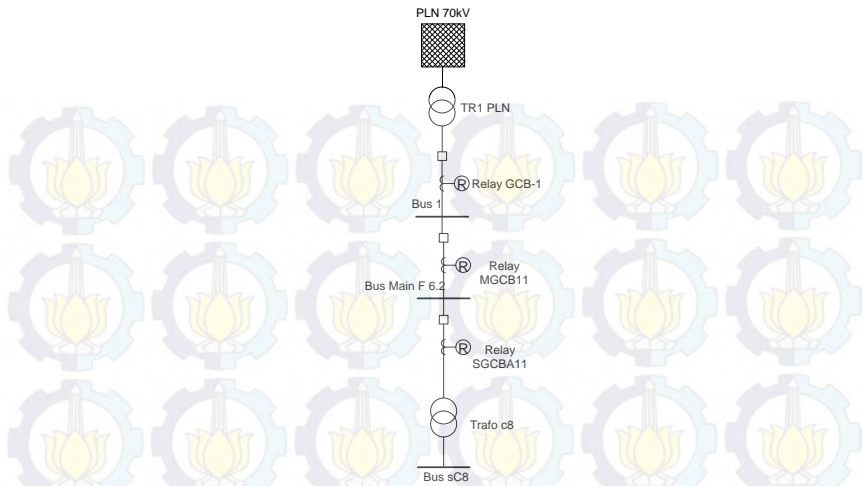
Sedangkan untuk grafik instantaneous tidak terjadi pergeseran range pickup highset. Hal ini dikarenakan arus kontribusi dari STG 30 MW ketika pembangkitan minimum tidak melewati SFCL sehingga nilai arus hubung singkat pembangkitan minimum tetap



Gambar 4.26 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

4.6.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Koordinasi rele arus lebih tipikal 4 merupakan jalur tipikal dari PLN 70kV sampai ke trafo C8. Tipikal 4 terdiri dari rele SGCBA11, rele MGCBA11, rele GCB-1. Gambar rangkaian tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.27.

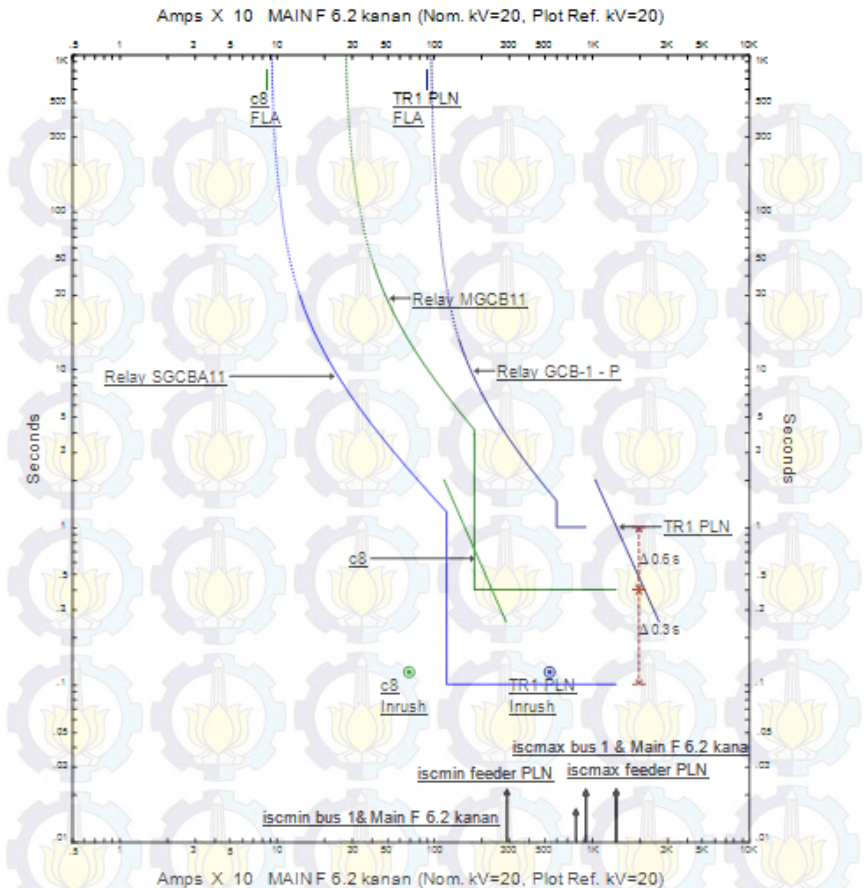


Gambar 4.27 Rangkaian Tipikal 4

Data awal koordinasi rele arus lebih tipikal 3 ditunjukkan pada tabel 4.38. sedangkan hasil plot kurva time curve (TCC) tipikal 4 ditunjukkan oleh gambar 4.28

Tabel 4.38 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 4

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
Rele SGCBA11	150/5	<i>Pickup Lowset</i>	93A
		<i>Time dial</i>	11
		<i>Picup Higset</i>	1200A
		<i>Time delay</i>	0.1s
Rele MGCBA11	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	276A
		<i>Time dial</i>	17
		<i>Pickup Higset</i>	1800A
		<i>Time delay</i>	0.4s
Rele GCB-1	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	960A
		<i>Time dial</i>	0.58
		<i>Pickup Higset</i>	7200A
		<i>Time delay</i>	0.9s



Gambar 4.28 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 4

Dari hasil plot kurva time current curve (TCC) tipikal 4 pada kondisi awal, serta analisa hubung singkat 4 cycle maupun 30 cycle terlihat bahwa terjadi perubahan nilai arus hubung singkat maksimum dan nilai arus hubung singkat minimum. Dimana pada bus 1, arus hubung singkat maksimum 4 cyle pada tabel 4.31 ketika kondisi awal sebesar 15.87 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL, nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle berubah menjadi 12.07 kA. Untuk arus hubung singkat minimum 30 cycle pada kondisi awal sebesar 2.9 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL. Nilai arus hubung

singkat minimum 30 cycle pada tabel 4.30 sebesar 1.51 kA. Dari hasil analisa diatas perlu adanya perhitungan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL. Berikut ini merupakan perhitungan parameter-parameter yang digunakan dalam koordinasi rele arus lebih gangguan fasa pada tipikal 4.

Rele SGCBA-11

Manufacture : Mitsubishi
 Model : COC2
 FLA TR1 DSS : 86.6A
 nCT : 150/5
 Curve Type : Very Inverse
 Ismin bus Main F PM 6.2 kanan: 1560 A
 Isc max bus Main F PM 6.2 kanan: 12180 A
 Isc max bus sC8 : 58950 A

Time Overcurrent pickup (low set)

$$1.05 \times \text{FLA Trafo C6} < I_{set} < 1.4 \text{ FLA Trafo C6}$$

$$1.05 \times 86.6 < I_{set} < 1.4 \times 86.6$$

$$90.93 < I_{set} < 121.24$$

$$\frac{90.93}{150/5} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 86.6}{150/5} I_n$$

$$3.031 < \text{tap} < 4.04$$

Dipilih tap = 3.1

$$I_{set} = 3.1 \times \frac{150}{5} = 93A$$

Time dial

Waktu operasi: 0.1

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$0.1 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{12180}{93} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$TD = 9.62$$

Range (0.25 sampai 50, dengan step 0.25)

Dipilih 9.63

Instantaneous current pickup (high set)

$$I_{sc \max \text{ bus sC6}} \times \left(\frac{0.4v}{20kv} \right) < I_{set} < 0.8 \times I_{sc \min \text{ bus main F PM71}}$$

$$53290 \times \left(\frac{0.4v}{20kv} \right) < I_{set} < 0.8 \times 1560$$

$$1065.8 < I_{set} < 1248$$

$$\frac{1179}{150/5} < \text{tap} < \frac{1248}{150/5}$$

$$35.52 < I_{set} < 41.6$$

$$\text{Dipilih tap} = 39.4$$

$$I_{set} = 39.4 \times \frac{150}{5} = 1182A$$

$$\text{Dipilih } t = 0.1$$

Rele MGCB-11

Manufacture : Mitshubishi

Model : COC2

FLA : 259.8 A

nCT : 300/5

I_{scmin} bus 1 : 1560 A

I_{sc max} bus 1 : 12180 A

Time Overcurrent pickup (low set)

$$1.05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 259.8 < I_{set} < 1.4 \times 259.8$$

$$272.79 < I_{set} < 363.72$$

$$\frac{272.79}{300/5} < \text{tap} < \frac{363.72}{300/5}$$

$$4.54 < \text{tap} < 6.062$$

$$\text{Dipilih tap} = 4.6$$

$$I_{set} = 4.6 \times \frac{300}{5} = 276A$$

Time dial

Waktu operasi: 0.4

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$0.4 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{12180}{276} - 1 \right)} \right] \times \frac{TD}{10}$$

$$TD = 12.77$$

Instantaneous current pickup (high set)

$$1.6 \times FLA < I_{set} < 0.8 \times I_{scmin \text{ bus } 1}$$

$$1.6 \times 259.8 < I_{set} < 0.8 \times 1560$$

$$415.68 < I_{set} < 1248$$

$$\frac{415.68}{300/5} < \text{tap} < \frac{1248}{300/5}$$

$$6.928 < I_{set} < 20.8$$

$$\text{Dipilih tap} = 20.5$$

$$I_{set} = 20.5 \times \frac{300}{5} = 1230A$$

$$\text{Dipilih } t = 0.4$$

Rele GCB-1

Manufacture : ABB

Model : P127

FLA TR1 DSS : 902.1 A

nCT : 1200/5

Iscmin feeder PLN : 7960 A

Isc max feeder PLN : 9190A

Time Overcurrent pickup (low set)

$$1.05 \times FLA \text{ TR1 PLN} < I_{set} < 1.4 \text{ FLA TR1 PLN}$$

$$\frac{1.05 \times FLA \text{ TR1 PLN}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \text{ FLA TR1 PLN}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.05 \times 902.1}{1200} I_n < \text{tap} < \frac{1.4 \times 902.1}{1200} I_n$$

$$0.79 I_n < I_{set} < 1.05 I_n$$

$$\text{Dipilih tap} = 0.8 I_n$$

$$I_{set} = 0.8 \times 1200 = 960 A$$

Time dial

Waktu operasi: 0.9

$$t = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$0.9 = \left[\frac{13.5}{\left(\frac{9190}{960} - 1 \right)} \right] \times TD$$

$$TD = 0.57$$

Instantaneous current pickup (high set)

$$1.6 \times \text{FLA TR1 PLN} < I_{set} < 0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}$$

$$\frac{1.6 \times \text{FLA TRM}}{CT_{primer}} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times I_{scmin \text{ bus DSS Main}}}{CT_{primer}} I_n$$

$$\frac{1.6 \times 902.1}{1200} I_n < \text{tap} < \frac{0.8 \times 7960}{1200} I_n$$

$$1.203 I_n < I_{set} < 5.3 I_n$$

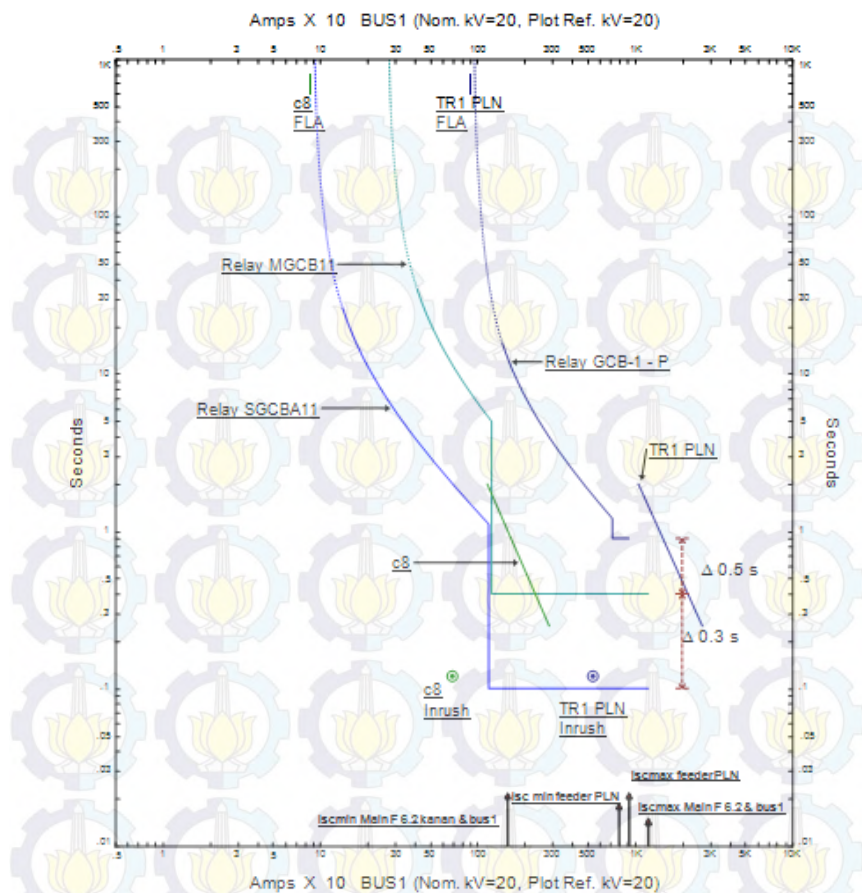
$$\text{Dipilih tap} = 1.5 I_n$$

$$I_{set} = 1.45 \times 1200 = 1800 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } t = 0.9$$

Dari hasil perhitungan parameter-parameter koordinasi rele arus lebih gangguan pada tipikal 4 diperoleh plot kurva Time Current Curve (TCC) seperti ditunjukkan pada gambar 4.29. Pada plot kurva TCC tipikal 4 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai time dial. Pada kondisi awal nilai time dial pada rele MGCB11 sebesar 17 Sedangkan setelah dilakukan penempatan SFCL nilai time dial sebesar 12.77. dengan adanya penempatan SFCL pada bus 1 maka akan menyebabkan perubahan kemiringan dari time dial.

Sedangkan untuk grafik instantaneous akan terjadi pergeseran range pickup highset. Hal ini dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum maupun minimum setelah adanya pemasangan SFCL semakin berkurang. Pada kondisi awal nilai pickup highset pada rele MGCB11 sebesar 1800 A, sedangkan setelah adanya penambahan SFCL nilai pickup high set sebesar 1230 A. Oleh sebab itu nilai pickup high set kurva instantaneous mengalami pergeseran ke kiri.



Gambar 4.29 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4



BAB V

PENUTUP

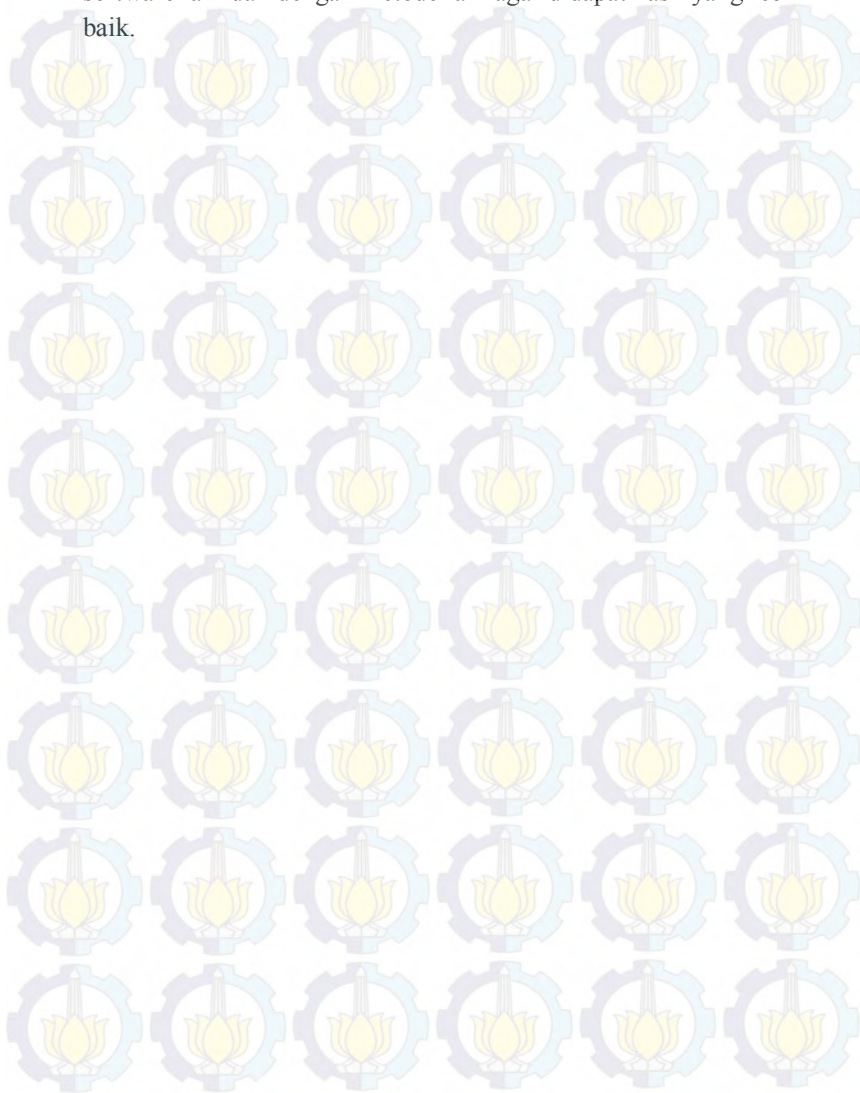
5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penggunaan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) pada sistem pengamanan pada PT Pindo Deli, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Arus Hubung singkat 3 fasa yang melebihi dari kapasitas eksisting switchgear hanya terjadi pada bus 1, yakni diatas 43.88kA. Nilai arus hubung singkat 3 fasa sebelum adanya SFCL 47.98 kA. Setelah adanya penambahan SFCL nilai arus hubung singkat 3 fasa sebesar 35.311 kA dengan nilai reaktansi CLR sebesar 3.1 ohm untuk SFCL 1. Sedangkan pada bus 2 arus hubung singkat 3 fasa mendekati titik kritis kapasitas switchgear. Oleh sebab itu pemasangan SFCL ditempatkan pada TIE 1 dan TIE 2 sebagaiantisipasi bila adanya penambahan beban.
2. Pada Tugas Akhir ini SFCL yang digunakan adalah hybrid resistive SFCL. Pada hybrid resistive SFCL, Superkonduktor difungsikan sebagai media switch arus hubung singkat menuju Current Limiting Reactor (CLR) dengan memanfaatkan kenaikan impedansi dari superconducotor .
3. Waktu switch yang dibutuhkan superkonduktor adalah 0.001 s sedangkan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mereduksi arus hubung singkat sebesar 0.002 s.
4. Pada setting rele MGCB11 pada setting awal sebesar 17. Sedangkan setelah dilakukan penambahan SFCL pada bus 1 nilai time dial menjadi 12.77. Untuk kurva instantneus pada seting awal nilai pickup high set sebesar 1800A sedangkan setelah adanya penambahan SFCL nilai pickup high set menjadi 1230A. Hal ini disebabkan perubahan arus short circuit maksimum dan minimum
5. Pemasangan SFCL sebagai pengamanan karena penambahan daya adalah cara yang tepat karena sistem tersebut menghemat biaya dan tidak perlu mengganti eksisting switchgear dan kabel yang telah terpasang pada PT Pindo Deli.

5.2. Saran

1. Diharapkan studi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan software lain dan dengan metode lain agar didapat hasil yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008
- [2] Ontoseno Penangsang. Prof, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga* 2, 2008
- [3] Steven M. Blair, Current–Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiters in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.22, No. 2, APRIL 2012
- [4] J-S Kim, S-H Lim, J-C Kim,“ Study on Application Method Of Superconducting Fault Current Limter for Protection Coordination of Protective Devices in a Power Distribution System,”in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.22, No. 3, JUNE 2012
- [5] Ok-Bae Hyun *Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue*
- [6] American National Standards Institute, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System, *IEEE Std 242-1986*
- [7] Lazar.Irwin , *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plants*



One-Line Diagram - DSS-PD1 (Star Sequence-of-Operation)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yohanes Sabriant Widyo Utomo dilahirkan di Surabaya – Jawa Timur pada Tahun 1991. Penulis memulai pendidikan di SDK St Yosef Surabaya dan melanjutkan pendidikan SMPK St Yosef Surabaya dan SMAK St Louis 2 Surabaya. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di D3 Teknik Elektro ITS dengan konsentrasi bidang studi Teknik Elektro Industri. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana. Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan teknik elektro dengan konsentrasi bidang studi Sistem Tenaga. Pada tahun 2015 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana.

